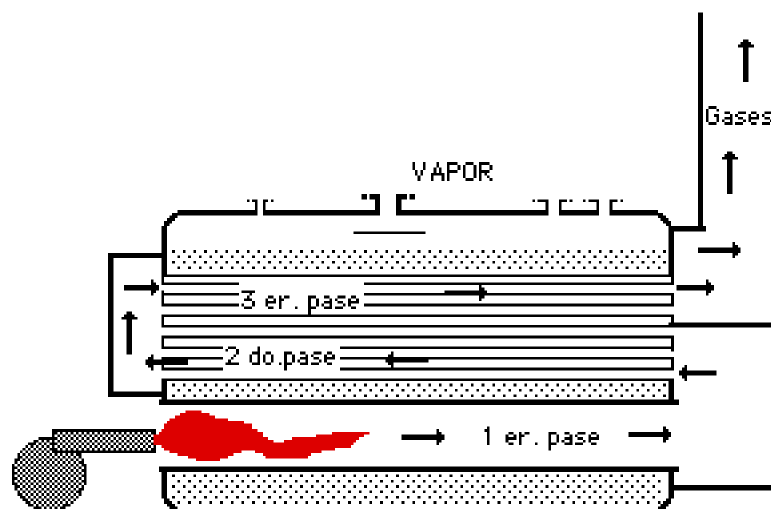



# Pequeño Manual del foguista

**Carlos W. Thomasset**
ASESOR TÉCNICO INDUSTRIAL
**MONTEVIDEO-URUGUAY**

**Año 2011......10a. Edición**

Esta es una nueva versión del "Pequeño Manual del Foguista", una herramienta desarrollada por Carlos W. Thomasset y que desde hace años es un apoyo invalorable, excediendo en mucho al núcleo a quien esta dirigido.

Este Manual tiene una virtud difícil de lograr: en sus fundamentos teóricos, sin dejar de lado la rigidez científica, usa un lenguaje comprensible por todos, pero manteniendo una altura que jerarquice a la profesión.

Pero lo más interesante, de inmenso valor para foguistas, pero también para ingenieros, es la desinteresada transmisión de conocimientos prácticos que incluye en este Manual y que son el resumen de su vida dedicada a la materia.

En cada párrafo, en el consejo o advertencia que parezca insignificante, se refleja un conocimiento adquirido duramente por su experiencia.

Es en realidad una fuente de consulta para todos los que se relacionen con el tema.

Durante mi actividad profesional en esta especialidad, no hubo problema importante que me tocara resolver, sin que lo conversara con Carlos W. Thomasset y no tuviera en cuenta sus opiniones acertadas y desinteresadas.

Por ver la profesión y la vida con una ética similar, nos une una sincera amistad.

De la misma manera creo que este Manual será un amigo para el lector.

Ing.Kurt Bauer

# PROLOGO

La **10a. edición, año 2011 del Pequeño Manual del Foguista,**, se escribe en plena crisis del petróleo del 2010-2011 (siendo la segunda crisis del petróleo del siglo XXI, habiendo más de una crisis en el siglo pasado, siglo XX). En la edición anterior (2008), decíamos lo mismo que en el 2011: "es un intento más en tratar de transmitir el conocimiento práctico-teórico, en un momento en que **el petróleo tiene un aumento en su precio en el mundo.**"

"Cuando estamos "**quemando**" petróleo en forma de **combustibles líquidos** o el **gas natural**, para generar energía en forma de **vapor** (tanto para calefacción de productos, como generación de energía mecánica-eléctrica), **estamos gastando una energía química, que fue el producto de la acumulación de millones de años de la energía solar en forma de "deshechos" biológicos en la tierra.**

**Ahora,** en pocas decenas de años (quizás en menos de 2 siglos, que en buena parte ya transcurrieron), **las consumiremos.......**

**Es nuestro deber, tenemos parte del conocimiento, debemos ser responsables, de evitar que los "restos" de esta energía sea "derrochada".**

Todavía el hombre no ha desarrollado **una real alternativa "limpia" de energía** que llene todas la necesidades de la sociedad humana. Estamos cerca o lejos, aún no está claro....

En **Uruguay, un país que es casi un desierto energético, que lo único que ha logrado es cubrir una pequeña parte de sus necesidades energéticas, con las represas climáticas** (en la generación de energía eléctrica, siempre que llueva).

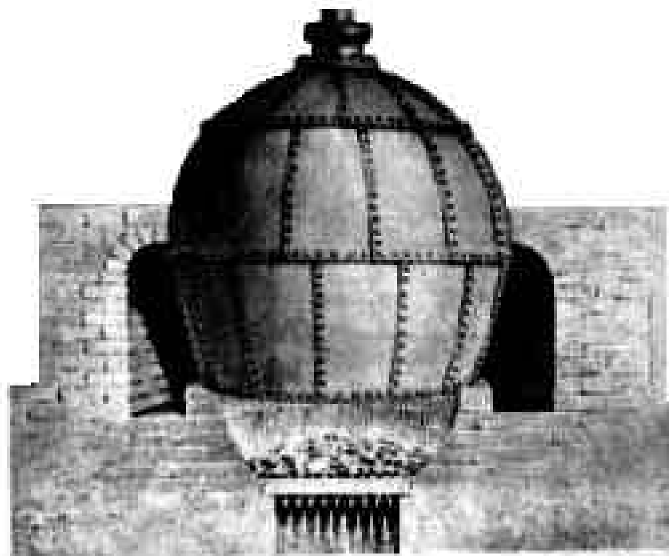
**Por ahora, otra posible energía disponible, es la leña, el eucaliptos** (tanto su consumo específico, como su posibles descartes de exportación) **o descartes de la producción agrícola** (cáscaras y otros)**, para la combustión en calderas.** Las otras energías, **o son importadas** o **serán una esperanza para el futuro**....

Esta publicación, no es un libro, es un manual (pretende ser una herramienta de trabajo). **Los combustibles alternativos, como la leña (eucaliptos) y otras biomasas, para Uruguay son la salida inmediata por lo menos a la generación de vapor y energía eléctrica en forma combinada (generación combinada).**

**Tratemos de hacer las cosas de la mejor manera posible..... y este es el espíritu de este Pequeño Manual."**

**Todo lo que dijimos, lo estamos "viviendo en carne propia" y todavía estamos esperando el "hagamos algo" y ya estamos en el 2011 y algo se está intentando hacer con la biomasa, la energía eólica, la solar y los biocombustibles.**

# Un pequeño recorrido por la historia de las calderas.



caldera Haycock 1720

La historia de las calderas parece no tener un claro principio. El hombre desde hace muchos siglos atrás, trató de emplear la fuerza del vapor. Primero utilizando la **propiedades de su condensación**, en la cual en realidad **era la presión atmosférica quien hacía el trabajo** de presión al condensarse el vapor . Se puede decir que hasta fin del siglo 18, las calderas prácticamente eran de tan baja presión (apenas 3 a 4 libras por pulgadas o sea 200-300 gramos por centímetro cuadrado o 2-3 metros de

columna de agua), que lo que hacían era **desalojar el aire con el vapor**, para luego proceder al enfriamiento del vapor, el cual **generaba un** "**vacío**" **al condensarse,** dando a lugar a que la presión atmosférica hiciera el trabajo de mover un émbolo o pistón.

La falta de conocimientos y materiales, era un límite natural. Se empleaban en la construcción láminas de cobre, latón, fundición de hierro, hasta madera y otros, de forma que al hacer la unión estanca entre las planchas que formaban la caldera, había tantas pérdidas, que a pesar que la sellaban con un calafate de cartón o algo similar, luego tenían que poner en el agua elementos que hicieran de "tapón" entre las juntas (¡ hasta la bosta de caballo se ponía en el agua !). Veamos un dibujo de una caldera de ese tipo y hasta una fotografía !!!!

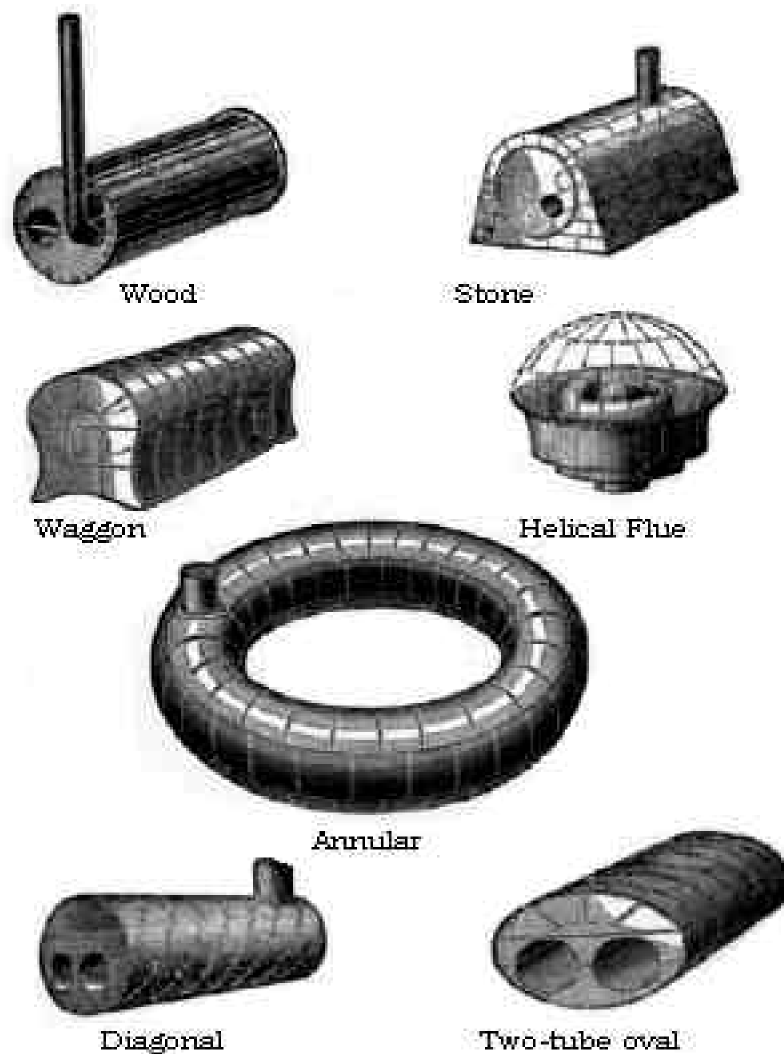
Esta forma geométrica parece bastante razonable para la época, veremos que hay otras formas más dispares. Hay una fotografía tomada en 1938 en una caldera parecida a este tipo (encontrada en G.Bretaña), que nos da una idea de como eran estas calderas.

Llegar a esto fue todo una "hazaña".



Fotografia tomada en 1938 caldera Haystack

Veamos algunos dibujos más de estas primitivas calderas del 1700....como las siguientes:




Algunas de estas calderas, de baja presión, especialmente las últimas del cuadro anterior, han llegado al principio del siglo 20.

En **Uruguay**, en el frigorífico **Casablanca de Paysandú**, en la década del 70 (1970) todavía se usaban calderas del tipo Diagonal, con dos tubos de hogar y el gas de combustión retornando por los laterales; **quemando leña, la eficiencia apenas llegaba al 50%**.

Era tanto el riesgo y la ineficiencia (el aprovechamiento del calor) de estas calderas, fabricadas más por herreros que por mecánicos o talleres especializados, que morían muchas personas en su operación.

Con la **aparición del hierro** como chapa (la fundición de hierro ya existía, pero el hierro "purificado" todavía no, el cual se podía trabajar mecánicamente) **en "planchas" forjadas**, y con la **necesidad de energía de operación en las minas y en las fábricas**, fueron apareciendo las

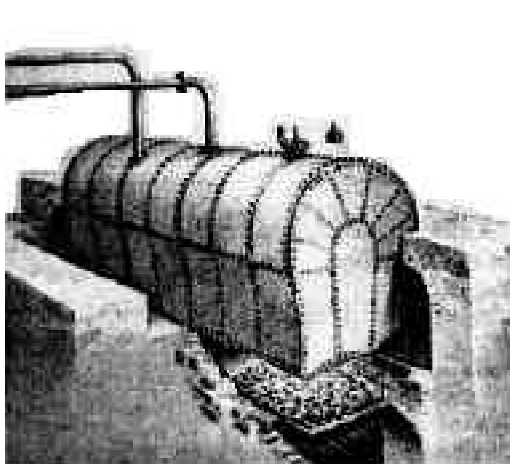
primeras calderas con cierto sentido para aprovechamiento del calor y con ciertos criterios de seguridad.

Las actuales calderas fueron naciendo con los comienzos de la era "industrial", en los países Europeos, especialmente en Gran Bretaña Alemania,etc. , y en América ( Estados Unidos de Norteamérica).

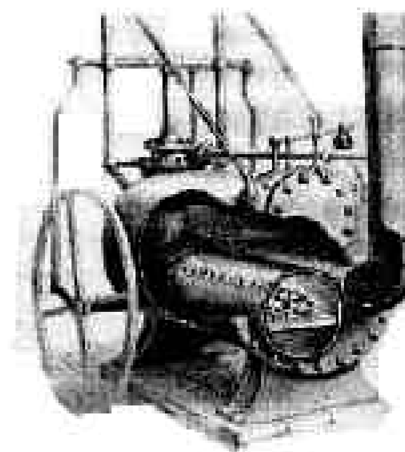
Los esfuerzos por convertir la energía del calor en energía mecánica para sustituir la energía de los hombres, los animales, el viento, el agua.........**eran permanente objetivo de los hombres.**

Primero, en tierra firme, especialmente en las minas, luego en la industria y los ferrocarriles, en las cosechadoras, etc., dio paso al **uso naval** de esta nueva fuerza aprovechable.

Quizás la primera caldera humo-tubular que tenía estos principios fue la de **Trevithick en 1804.**



Waggon 1768



Caldera Trevithick 1804

**Al comparar** la caldera del Sr, Trevithick de 1804 con una Waggon de 1768, evidentemente no tienen "**nada que ver**".

Mejorando la calidad de los materiales, el diseño, los elementos de seguridad, la operación etc....en **el siglo 19 será el gran siglo de las calderas**, **con las máquinas alternativas de vapor**, ya que los motores de combustión interna recién aparecerán a fin del siglo y comienzos del siglo 20. A fines del siglo 19 y principios del siglo 20, aparecerán las **turbinas a vapor**, moverán las grandes usinas y los barcos a vapor.

Dentro de la problemática de las calderas en el siglo 19 y comienzos del siglo 20, **el problema del agua era muy importante**, ya que había un gran desconocimiento del manejo de la misma. Generalmente se utilizaba el agua disponible en el lugar, que muchas veces era de la peor calidad. Poco a poco los "maquinistas" o primeros "foguistas", iban tomando conocimientos prácticos para mejorar el comportamiento del agua en las calderas. Utilizando los más variados elementos que introducían en el

interior de las calderas (desde papas, aserrín, etc.,) para evitar que se formaran incrustaciones. Formándose barros extraibles, por purga o teniendo que abrir en muchos casos, después de cada jornada, alguna tapilla de la caldera para sacar los barros del trabajo diario y volver a poner dichos elementos (papas, aserrín,etc.) nuevamente para la marcha.

**Tanta gente murió y se accidentó**, que tanto en Gran Bretaña y en Estados Unidos, **las compañías aseguradoras apremiaban a los fabricantes de calderas las mejoras para evitar accidentes**. Tal es así, que hasta las publicaciones de aquellas épocas tenían reservado en sus páginas **los accidentes de calderas del mes**.

En **Inglaterra** una compañía aseguradora había determinado aproximadamente que en el año **1862**, en un reporte mensual, indicaba que se habían registrado en dicho **mes 202 explosiones de calderas, que habían fallecido 438 personas y habían sido heridas unas 476 con serías lesiones.**

A medida que transcurría el siglo 19, aparecieron las **calderas acuo-tubulares**, dando mayor seguridad a medida que aumentaba la presión de trabajo. Se llegaron a llamar "**inexplosivas**".

**Pero todo el siglo 19 fue una verdadera "batalla" para llegar a tener calderas con cierta seguridad. En 1866 al hacer un "Records of Boiler Explosions**" (un informe de las explosiones de calderas ocurridas hasta la fecha) **en Gran Bretaña, se llegaba a la conclusión que hasta la fecha habían ocurrido unas 1.046 explosiones, causado la muerte a unas 4.076 personas y herido a unas 2.903** (quizás hubieran más no contabilizadas por la falta de organismos de control, comunicación o archivo).

Tanto en Europa como en Estados Unidos, se fueron formando **asociaciones de ingenieros, fabricantes, aseguradores,** etc. Fueron tomando conciencia del problema y fueron **dictando "normas"** para el diseño, construcción, operación de las calderas e inspección de calderas.

**Por ejemplo, en ESTADOS UNIDOS, pasó lo siguiente:**

Recién en los **1880** fue fundado el **ASME** (**American Society of Mechanical Engineers**, o "Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos"). Sociedad de ingenieros que irá creando normas para la fabricación de elementos mecánicos, creando con el tiempo lo que se llamaría el **Boiler & Pressure Vessel Code** (Código para calderas y recipientes a presión).

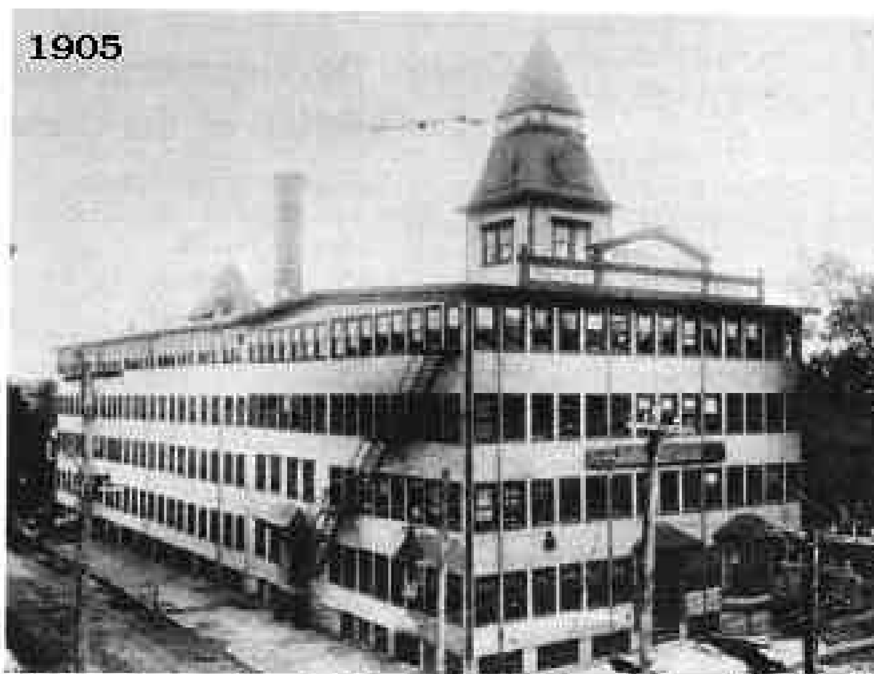
En todos estos años se producirían tantos accidentes de calderas que las revistas técnicas, como **POWER**, tenían una sección que se llamaba : "**This month's accidents**" (Accidentes del mes).

Esto llevó a que se reunieran los fabricantes de caldera y crearan en **1888** la **ABMA** (**American Boiler Manufacturater Association** o "Sociedad Americana de Fabricantes de Calderas" ). Era así llamada la

sociedad americana de **fabricantes de calderas**.

La combinación de estas asociaciones, con **las compañías aseguradoras** (responsables de las pérdidas económicas)**, al ocurrir graves desastres, forzó a la necesidad de estos códigos o reglamentos para calderas.**

**Hubo un hecho** que marcó esta necesidad.




Fábrica de zapatos, de Brockton en Massachusetts, U.S.A.

**En 1905 una fábrica de zapatos sirvió como detonante de esta situación de falta de seguridad.**

A partir de este hecho se comienza a pensar en un **código sobre la construcción de calderas**, en la cual estuvieran representados los **ingenieros mecánicos**, los **fabricantes de calderas** y las **compañías aseguradoras**. Este hecho fue una "tremenda explosión" en Massachusetts, en Brockton, donde una fábrica de zapatos prácticamente desapareció, muriendo muchas personas y quedando heridas muchas más.

Esto llevó a que en el estado de Massachusetts se creara el primer código de construcción, cuidados e inspección de las calderas con fuerza de reglamento o ley.




**Fábrica de zapatos de Brockton en Massachusetts, U.S.A, luego de la explosión de las calderas, matando 58 personas e hiriendo a 117. Luego de este desastre, se comenzó a reglamentar la construcción y uso de las calderas en el estado de Massachusetts, en 1907.**

Luego otro estado, **Ohio**, siguió el ejemplo de **Massachusetts**.

Ahora se daban las condiciones para que se creara el primer código a nivel nacional. Esto demoró unos años más, en discusiones, pero en 1914, se creó : ***Rules for de construction of stationary boilers and for allowable working pressures*** (Reglamento para la construcción de calderas estacionarias y su presión permitida de trabajo). Se homologó en **1915**, era un **código de la ASME**, en consejo con la **ABMA**. Para que tuviera efecto de ley en todo el país hubo que crear lo que se llamó **The American Uniform Boiler Law Society** (formada en 1916, Sociedad Americana para Uniformizar Leyes para Calderas). Actualmente el **código americano** se llama: ***ASME Boiler and Pressure Vessel Code*** (Código para Calderas y Recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

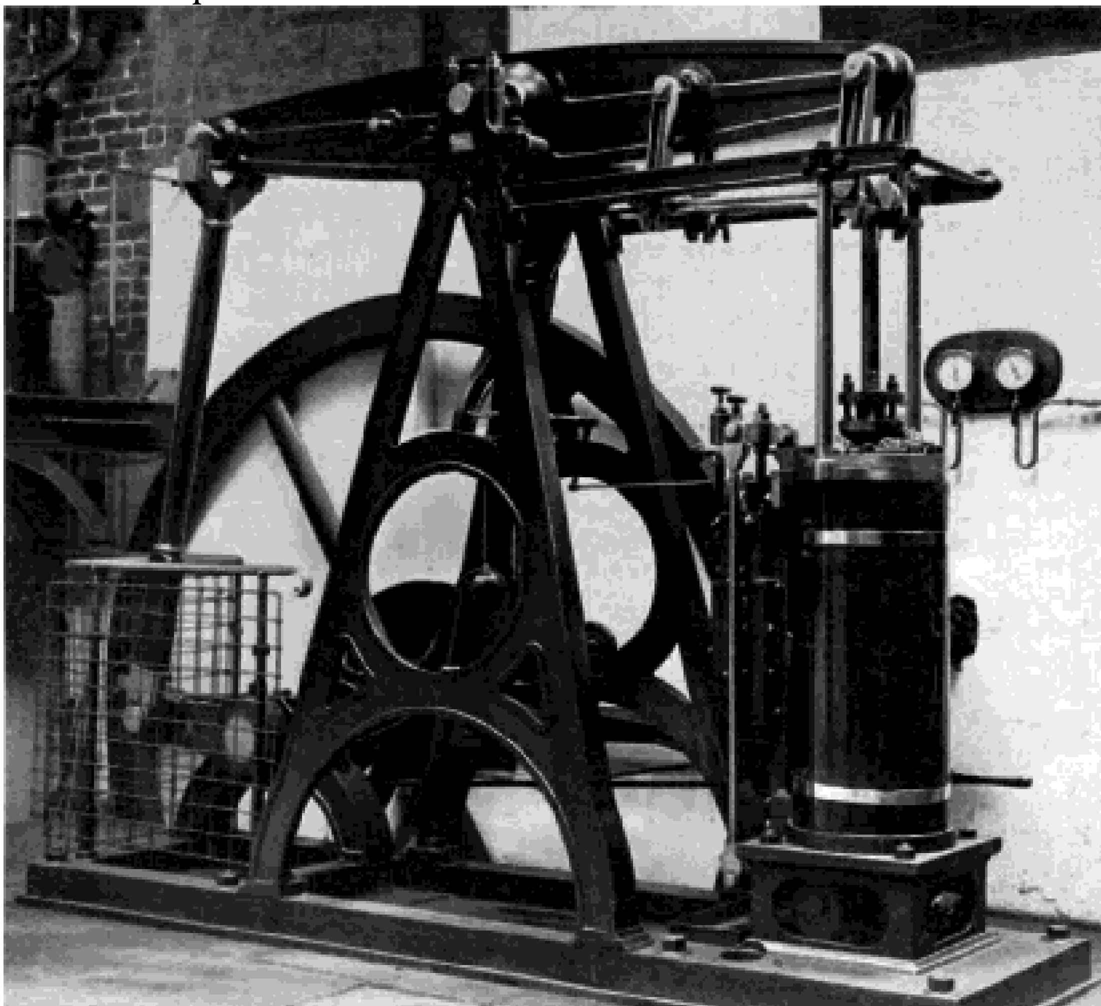
No olvidemos que **un simple recipiente con aire comprimido puede ser muy peligroso,** si no se construye con los materiales, técnicas y diseños adecuados, esto ocurre con **todos los fluidos que puedan ser comprimidos y puedan expandirse**.

Una etapa muy importante, fue la de **elegir quienes serían los inspectores de estas normas. Lo más importante de una norma o un sello, es ser respectados.** Por eso en **1919** se organizó el **National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspector** (Junta Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión).

Estos **inspectores** hasta el día de hoy se nombran con una **cuidadosa**

**selección**, de las más **diversas carreras** (ingenieros mecánicos, navales, etc.). Significativamente, **pesa mucho la experiencia en el área de calderas** (tanto en la **operación de calderas de presión y capacidad**, **como en el tiempo que han sido operadas**). Estos inspectores **actúan bajo su responsabilidad,** una vez obtenido su certificación para actuar, es decir, **son responsables del sello que otorgan** y **cada tanto deben concurrir a cursos de reciclo.**

Lo que debe quedar claro, es que todos estos códigos e inspecciones, lo que buscan es que la caldera y los recipientes de presión, **sean equipos seguros para su operación** y no un mero trámite burocrático para obtener un permiso.



**Máquina alternativa de fines de siglo 18 y principios del 19 Posiblemente construida por Boulton y Watt.**

**Hoy en día siguen habiendo accidentes en las calderas**.

**La falta de preparación de las personas, quizás sea la principal**

**causa de accidentes**. La falta de responsabilidad de algunas personas que dan **la falsa idea de que conocen el tema**, algunas vendiendo reparaciones, tratamientos, aparatos relacionados o **enseñando equivocadamente**, hacen que estos accidentes puedan ocurrir cuando no debieran ocurrir. Las leyes o decretos en el Uruguay no son muy claros (hay confusión técnica en quienes lo redactaron).

**Los inspectores juegan un rol muy importante**, ya que por lo general la gente piensa "**esta caldera pasó el examen, no le va a pasar nada**", pero si el inspector ha dejado pasar una posible causa de futuro accidente, esto puede ser muy peligroso......además la caldera es dinámica, hay otras posibles fallas. **Los inspectores deben ser muy cuidadosos al dar sugerencias o exigencias,** ya que una mala interpretación, puede llevar a una situación peor que la que sea ha querido corregir (no olvidar que la caldera es un elemento dinámico en su operativa, que solo aquellos que tienen una real experiencia en su construcción y **especialmente manejo, con muchos años de experiencia**, son quienes realmente conocen con profundidad el tema, interpretando desde luego, las normas, que son una guía, pero que **a veces no resuelven el problema por sí mismas**).

También pueden haber **fabricantes inescrupulosos o ignorantes**, que venden calderas que no fueron construidas de acuerdo a las normas (no todas las normas son igual de seguras), muchas veces esto ocurre con las calderas importadas (las mismas vienen ya con la aislación puesta, son difíciles de inspeccionar extructuralmente en esas condiciones, es como "un médico examinar un enfermo con sobretodo"!!!!.

Por eso, **cuando se compra una caldera nueva**, se deben exigir que las normas correspondientes sean cumplidas.**Todas las normas:** las de los materiales, las constructivas, las inspectivas, las operativas y las relacionadas con todos los elementos de operación de seguridad.

Cuando **se compre una caldera usada**, se deben averiguar todos las informaciones históricas desde su **construcción, operación, reparaciones,** etc. y **hacer una inspección con todas las pruebas necesarias, para asegurarnos que la caldera está en condiciones de una operación segura**.

Pero, por más que una caldera, sea buena, bien construida, **debe ser bien usada, respectando todos sus límites operativos, ya que en definitiva cualquier caldera puede ser una "bomba".**

Es un error pensar que una caldera cuanto más soporte la presión (en un calefón de agua pasa lo mismo), habrá menor riesgo, **esto es falso**, ya que lo importante es el **límite de la presión de trabajo**, así como **el límite de la transferencia térmica**, etc., ya que si estos límites se superan, cuanto más fuerte sea el recipiente, más fuerte será la expansión (el efecto expansivo o de explosión).

A esta problemática de todo lo relacionado a la construcción y operación, debemos de agregar un importante capítulo : **la química del agua.** En la química del agua se debe tener muy en cuenta que la misma

**está asociada a la seguridad, eficiencia de la caldera y calidad del vapor.** Los productos químicos a utilizar deben de estar dentro de los elementos que **no afecten a la salud humana** : hay productos que son cancerígenos, hay otros que todavía no se saben si lo son con claridad (algunos de ellos de origen sintéticos, casi indestructibles). En una planta, el vapor de estos productos pueden entrar en contacto con el ser humano en forma directa o indirecta (a través del manipuleo de los productos, del vapor, etc)..

También se venden **aparatos mecánicos** "**milagrosos**" (generalmente "magnéticos") q**ue tratan el agua**. Se debe tener **mucho cuidado** con esto, ya que no nos podemos descansar en algo que nos puede llevar a que entremos en una zona de peligro en la caldera (por incrustación de la misma). Han ocurrido importantes accidentes.

**No olvidar, que lo más importante en una caldera, es el "enfriamiento" de las superficies del metal sometidas a la transferencia de calor** (que tienen por un lado una alta temperatura de la combustión o sus gases calientes y el otro el agua o vapor, que enfría el metal, tomando el calor del metal, pudiendo haber una capa de incrustación o un fenómeno tenso-activo, que interfiera con este enfriamiento), **que se pueden quemar o colapsar, lo que se puede decir que en definitiva, la circulación interna del agua o del vapor en una caldera, es la condición más importante a respectar. Pero también tenemos que tener en cuenta que una caldera excesivamente limpia puede ser una caldera perdiendo espesor del metal** (el metal en contacto con el agua es protegido por una capa de óxido magnético, por lo que si esta capa se disuelve, el metal es atacado, perdiendo espesor, de allí que una caldera debe ser preferiblemente incrustada, bajo el límite de seguridad y Eficiencia, pero nunca permitida su corrosión, la corrosión no tiene arreglo, la incrustación controlada siempre es limpiable).



**Este concepto ya lo tenía muy claro, uno de los "maestros" de las calderas:**

La siguiente es una copia del libro *Calderas de Carl D. Shield*, el que ha puesto como sumario la idea de una **caldera perfecta en el año 1875** dada por el Sr. Stephen **Wilcox**.

Nota: A pesar de los años transcurridos, esta idea sigue teniendo una validez indiscutible, pero aún hay quienes no la aplican.

**Dijo el Sr. S.Wilcox en 1875 :**

"1-Una mano de obra apropiada y construcción sencilla, utilizando materiales que la experiencia ha señalado como los mejores, con los que se evitan reparaciones prematuras.

2-Un colector de lodos, para recibir todas las impurezas que deposita el agua, colocado en tal forma, que pueda ser removido fuera de la acción del fuego.

3-Una capacidad de agua y vapor suficientes, para prevenir las fluctuaciones de la presión del vapor y del nivel del agua.

4-Una superficie para el desprendimiento del vapor del agua lo suficientemente amplia, para prevenir la formación de espuma.

**5-Una constante y total circulación del agua dentro de la caldera, para mantener la temperatura uniforme en todas partes.**

6-El espacio del agua debe dividirse en secciones que se tendrán que disponer en tal forma que si alguna de ellas llega a fallar, no pueda ocurrir una explosión general, sino que los efectos destructivos queden confinados al escape del contenido de la caldera. **Conductos amplios y libres de obstáculos entre diferentes secciones, para que la línea de agua y la presión sean idénticas dentro del conjunto total.**

7-Una resistencia extremadamente alta, que esté por encima de cualquier deformación justificada; y una construcción tal de la caldera, que quede exenta de las deformaciones ocasionadas por expansión desigual y, hasta donde sea posible, evitar uniones en las partes expuestas a la acción del fuego.

8-Una cámara de combustión construida de tal manera, que la combustión de los gases, que inicia en el fogón quede terminada antes de que dichos gases escapen por la chimenea. (Nota: En la actualidad es esencial que la combustión termine, virtualmente dentro del fogón).

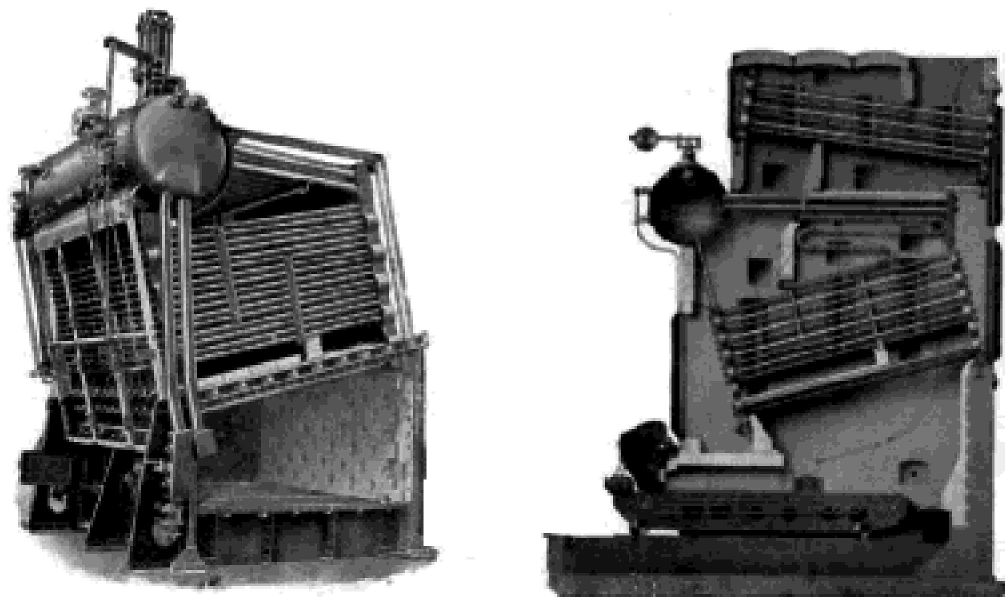
9-Que las superficies de calefacción se aproximen lo más posible a formar un ángulo recto en relación con la dirección de las corrientes de los gases calientes, de manera que sean cortadas dichas corrientes, para extraer el contenido completo de calor de los gases.

**10-Todas las partes deben ser fácilmente accesibles para fines de limpieza y reparaciones. Esta es una condición de la máxima importancia, porque se relaciona tanto con la seguridad, como con la economía.**

11-Debe estar proporcionada con el trabajo a desarrollar y adecuada para trabajar a su capacidad máxima de régimen con la más alta economía.

12-Debe ser equipada con los aparatos de medición y válvulas de seguridad más modernos, al igual que otros accesorios.

Babcock & Wilcox Co. Steam, Its Generation and Use. "



**Antiguas calderas acuo-tubulares de fines del siglo 19**

**En URUGUAY**

Las primeras calderas probablemente fueron las instaladas en los **buques de la carrera y cabotaje** (tanto del Río de la Plata como del Río Uruguay), en las **trilladoras**, en algún **molino**, en **ferrocarriles.**

En el caso de la **trilladoras** se pagó tributo en muchos accidentes debido a la precariedad del medio en que se trabajaba (lejos de los talleres, con aguas no muy adecuadas, etc.). Las calderas usadas eran las del tipo locomóvil con ruedas para su transporte.



**CALDERA TIPO LOCOMÓVIL A CARBÓN**

Es una caldera humo-tubular muy común en Uruguay hasta la mitad del siglo 20, de 2 pases de tubos y un pase exterior en el hogar

("panza caliente", sumamente "peligrosa" por el asentamiento de barros sobre el hogar en la zona de la envuelta, lo que dificulta la transmisión de calor y produce su rotura sobre el fuego. Este tipo de caldera provocó muchos accidentes. Fueron adaptadas a F. Oíl.



Los **ferrocarriles** (actualmente AFE) también fueron movidos en su primer momento por medio del vapor (quemando leña y carbón, luego adaptadas a F. Oíl). La problemática del agua, que se cargaba en distintos puntos del país, obligaba a limpiezas mecánicas en forma periódica de las cámaras de agua. De estos talleres del "ferrocarril" salieron muchos "foguistas" y técnicos para la industria y los talleres.

Los **guinches del puerto** fueron movidos por máquinas alternativas a vapor , alimentadas por calderas verticales.

La **usinas eléctricas del Estado** (UTE) ha sido y es la gran planta de vapor en la actualidad (alta presión), habiendo en otras épocas dispuesto de plantas menores en ciudades del interior.

El **suministro de agua potable a Montevideo** (ahora OSE) era por medio de calderas y máquinas alternativas.

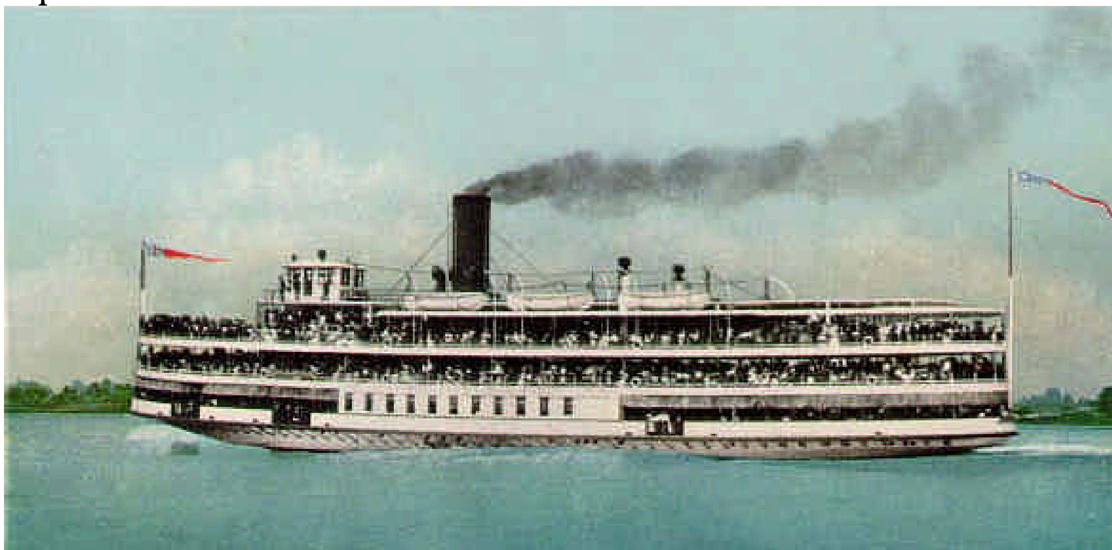
La **refinería de petróleo** (ANCAP) también utiliza la energía de calderas de media presión con generación propia y aprovechamiento de gases del proceso.

Algunas **industrias**, como los **grandes frigoríficos**, la **industria textil,** la **cervecera** , la **industria azucarera**, tuvieron grandes plantas de vapor, con turbinas y generación propia. Estas plantas eran de media presión, con vapor sobrecalentado.

La **industria papelera,** con calderas de media presión y calderas de recuperación de proceso, con turbinas y generación eléctrica propia.

Algunas **canteras de arena y otras extracciones**, contaban con

calderas para mover sus máquinas, ahora desplazadas por los motores de explosión interna.



**Barco a vapor de fines de siglo 19 y principios de siglo 20**

**Los barcos**, en épocas anteriores, llamados **vapores**, el mismo nombre indicaba la importancia de las calderas en su propulsión y generación de energía eléctrica. Hoy han pasado a motores diesel. Uno de los más conocidos en los últimos tiempos : EL TACOMA tenía calderas de baja presión (humo-tubulares) con turbinas de vapor. Los petroleros de ANCAP y de la ARMADA. Los remolcadores del puerto. Los "vapores de la carrera" desde el siglo pasado (que unían desde Salto, Montevideo, Buenos Aires) fueron los más famosos. Se cobraron muchas "victimas" con los accidentes provocados por las fallas de las calderas (problemas propios de una época).

**Las leyes y decretos en Uruguay**, puede que haya ordenanzas anteriores, parten de la Ley Nº5032 del 21 de Julio de 1914 sobre Accidentes de Trabajo, que se fue implementando con el tiempo, específicamente para calderas desde la ley del 7 febrero de 1925, que daba el contralor técnico de las calderas a la **Inspección de Minas e Industrias** (después **Dirección de Industria**). Ya en ese entonces se promueven inspecciones anuales del tipo visual y operativo, quedando inspecciones cada 4 años más completas, con prueba hidráulica.

Luego por decreto del 3 de diciembre de 1925, se hablaba de 3 categorías de generadores: de Baja presión hasta 2 kg/cm2, Medida presión de más 2 Kg/cm2 hasta 4 Kg/cm2 y de Alta presión de más de 4 Kg/cm2..

**Hoy esta clasificación no tiene sentido técnico ya que los límites de presión son arbitrarios, es decir todo es muy relativo, de manera que hoy se utiliza la superficie de calefacción que da una idea más clara sobre la dimensión del generador.**

Por ley del 31 de enero de 1935 pasará a la **Dirección de Industrias** el control y cobro de las tasas de impuesto.

Los decretos del 11 de marzo de 1927, junio de 1930, 15 de mayo de 1933, noviembre de 1934 y 31 de agosto de 1938, darán la pauta de la **Reglamentación general**, esto reglamentaba todas operaciones de control, traslados y enajenación de los generadores de vapor.

Un decreto del 24 de julio de 1933 reglamentaba el uso de las soldaduras en la reparación de las calderas (no olvidar que las calderas eran por lo general **remachadas**), este decreto daba algunas normas técnicas muy genéricas sobre responsabilidades y procedimientos. Siendo necesario que los talleres que efectuaran reparaciones de importancia (¿cuerpo de presión?) hubiera un ingeniero especializado responsable.

El decreto del 29 de noviembre de 1940, regulaba los procedimientos, responsabilidades, de los propietarios de calderas y los talleres de reparación. **Siempre el propietario es el responsable principal o el taller que efectuó la reparación, no así el inspector que habilita el generador.**

La dirección de Industrias será el controlador, aunque quien aplique las sanciones será el Instituto Nacional del Trabajo y Servicios Anexados.

**En resumen**, en los referente a las calderas, ya desde aquellos años: Los **inspectores deberán controlar la exactitud de la presión de los manómetros,** utilizando para ello un **manómetro patrón**, las **válvulas de seguridad** quedarán **precintadas una vez calibradas** (será la Dirección de Industria quien controlará estos precintos). Se indicaban los procedimientos más importantes en las situaciones de riesgo y los procedimiento a tener en cuenta para las inspecciones.

**Se llevaba un libro de anotaciones de las inspecciones y reparaciones** (decreto 11 de marzo de 1927), pero toda avería o reparación se debía comunicar a la Dirección de Industrias (decreto del 29 de noviembre de 1940). En cuanto a los foguistas, deberían tener un certificado de idoneidad de la D.I. (decreto de 3 agosto de 1945).

Un decreto 406/988 (M.S.P.) , el el capítulo IV se reglamentan una cantidad de elementos o procesos sobre las calderas y recipientes a presión, sus cuidados y operación.

Por decreto del 12 de marzo de 1997 se acuerda que el M.I.E.M. podrá pasar al L.A.T.U. (Laboratorio Tecnológico del Uruguay) la inspección técnica de los generadores de vapor.

**Hoy en día, la legislación está en un período de evolución, dado que los generadores de vapor han cambiado mucho** (siendo el Decreto 190/997 en donde se procede a pasar la obtención del carné de foguista al Bachillerato Tecnológico de Termodinámica (Frío-Calor) de la Escuela Técnica del Buceo). Es posible que en estos tiempos, sigan los cambios, por distintas razones.

A partir del 1º de Enero del 2011. de acuerdo a lo dispuesto en ley 18.719. se transfiere la competencia de regulación y fiscalización del funcionamiento y delas condiciones de seguridad de los generadores de vapor, que radicaba enla Dirección Nacional de Energía y Teconología Nuclear (DNETN) del Ministerioi de Industria y Energía y Minería (MIEN), a la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA).

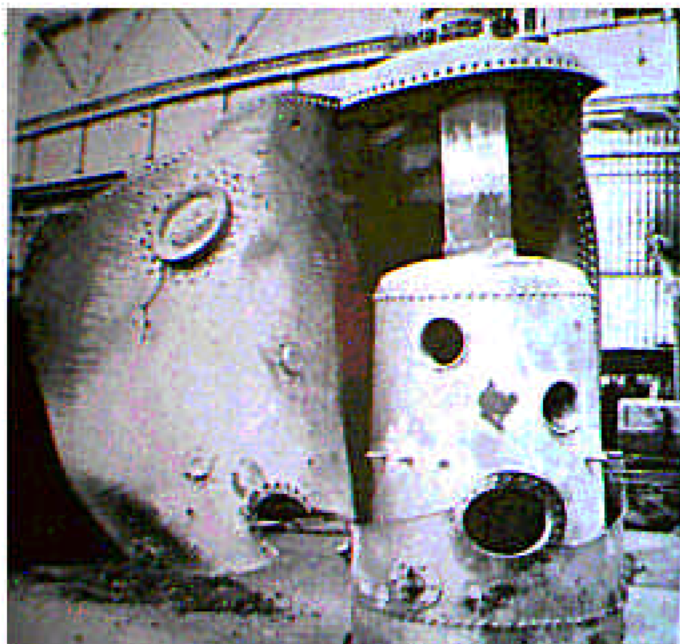
Pero hay cosas muy rescatables de estas leyes y decretos anteriores, algunas que ya se dejaron de usar, como ser : **que cada generador centralice en sitio, en una libreta toda la información en su vida útil** (esto sirve como historial, cosa muy importante). **La otra es el control de los manómetros en sitio**, ya que un manómetro por calibrado y precintado que esté, puede fallar desde el lugar en donde se efectuó la calibración y el precinto, a su instalación en la caldera.

**No comparto en la reglamentación de la purga diaria de la conexión al manómetro** (esto provoca corrosión y fatiga en el manómetro), quizás el motivo de esta indicación era por el temor que el manómetro estuviera "engripado" (cosa muy probable en aquellas épocas que casi no existía el tratamiento de agua).

Creo que es bueno la **prueba dinámica de presión de apertura y cierre** (con presión de la propia caldera) **de las válvulas de seguridad**, es la única forma de asegurarse que las mismas operan correctamente, **las cuales deberían estar precintadas por el inspector, pero también deberían hacerse pruebas de capacidad** (cosa que nunca he visto hacer en 45 años), especialmente en calderas nuevas. **Así como el control del manómetro por medio de un manómetro patrón** (bajo responsabilidad del inspector), **dado que un manómetro supuestamente "certificado", puede sufrir <u>un golpe</u> en el traslado entre la certificación y su lugar de uso** (cosa muy controlable con un manómetro patrón, especialmente ejecutado para esta tarea y con frecuentes controles, ya que los "grifos de manómetro" tienen una platina para conexión del manómetro patrón sin necesidad de cerrar la conexión al manómetro instalado, véase el capítulo correspondiente). **Esto ya estaba reglamentado**.

**Es una buena política de seguridad las pruebas de las envueltas de la calderas no solo frente a fallas de las mismas, sino por el "paso del tiempo": como las pruebas de 25 años, en la cual se debe "quitar toda la aislación" y hacer un minucioso chequeo del recipiente a presión** (espesores, control de soldaduras por medios "no destructivos", etc.)**, pero lo importante no deja de ser la observación del conjunto de la envuelta y los chequeos efectuados en los lugares lógicos de que haya un problema de corrosión, fatiga o desgaste (estos puntos por lo general están en zonas de difícil acceso), de allí la importancia del conocimiento del inspector o asesor de la empresa, ya que muchas veces la simple medida y ensayos no alcanzan para evaluar realmente la condición "dudosa" de la seguridad de la caldera. Hemos dado de**

**"baja" calderas que fueron dadas como en "buen estado" por empresas que se dedican a la medida y control de envueltas** (dada que la inspección ocular revela cosas que solo "la experiencia" muestra). ***Porque no hay accidente más grave que una envuelta que no soporte la presión y se abra en una explosión!!***



**ANTIGUA CALDERA VERTICAL.** Esta caldera ha sufrido una explosión de envuelta, el más peligroso de los accidentes, generalmente producto de fallas estructurales, ataque cáustico a los remaches o simplemente exceso de presión.

En este año que pasa (2011), la lesgilación sigue en evolución, pero hay preguntas que nos hacemos ?

**¿Que son las calderas hoy en día?**

**a-Un recipiente a presión** (como hasta mediados del siglo pasado)

**b-Un conjunto de elementos de ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y química** (producto de la necesidad de la automatización y las altas Eficiencias que se pretenden lograr, con altísimas vaporizaciones por m2. de superficie).

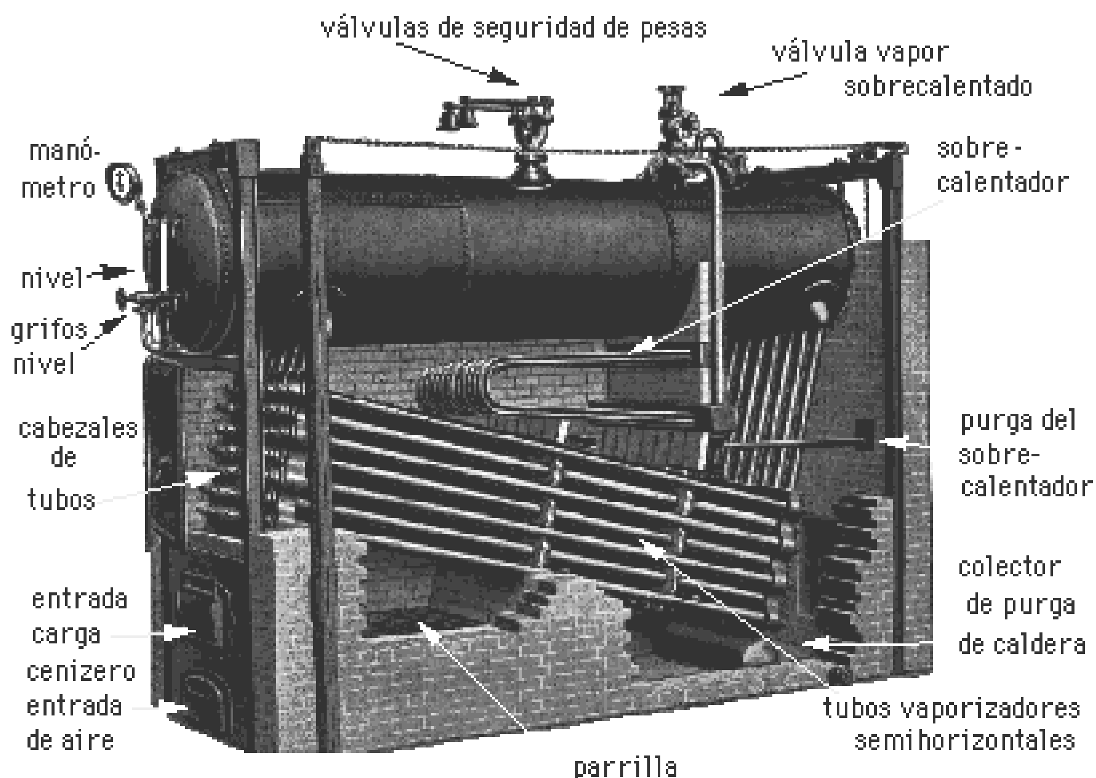
**En mi opinión**, ya las caldera no son más solamente un "cuerpo de presión" (como eran hace más 50 años atrás), **en la cual no solo que las calderas tenían problemas constructivos** (materiales y procedimientos, herramientas como la soldadura, etc), **y cuyas bajas vaporizaciones por m2 y no tener mayormente automatización, el problema era el cuerpo de presión.**

**Hoy en día, la alta automatización y la alta vaporización específica, hace tan importante el cuerpo de presión, como la automatización** (eléctrica y electrónica)**, o quizás la circulación interna** (sea lo más importante, esto depende del diseño y del tratamiento químico),**o el tratamiento químico que influye tanto en la transmisión de calor como la circulación interna** (ya que que la alta vaporización no admite incrustaciones o corrosiones, o arrastres,etc. o la simple alteración físico-química del agua en las condiciones en que está sometida en el interior de la caldera).

**¿Entonces la gran pregunta:** quienes son los profesionales capacitados en exclusividad para el "**conocimiento de las calderas**" **?**

Respondiendo a esta pregunta, creo que no hay una profesión y lo que hay es una "idoneidad" con una base universitaria o técnica (sean ingenieros: mecánicos, industriales, navales, eléctricos, electrónicos o químicos o tecnólogos de carreras "paralelas"). Y evidentemente, en cada parte, habrá algunos cuyas carreras les facilita su entendimiento, por lo cual en los temas específicos y de gran riesgo, tendrán la palabra, pero no deben olvidar que no hay un límite en cada tema, para que este quede aislado de los demás. Pues **de nada sirve una excelente caldera como cuerpo de presión, si su circulación interna está mal diseñada, o si los elementos de seguridad (automáticos) no son los adecuados o no están ajustados adecuadamente, o simplemente el tratamiento químico no es el adecuado a las circunstancias.**

**Ahora es Ud. el protagonista, entremos de lleno en el tema en las siguientes páginas......**




ANTIGUA CALDERA ACUO-TUBULAR ("INEXPLOSIVA")

## Definiciones de caldera de vapor :

**Caldera de vapor:** Recipiente donde hierve el agua, cuyo vapor se utiliza como fuerza motriz de la máquina. **Enciclopedia Universal Sopena.**

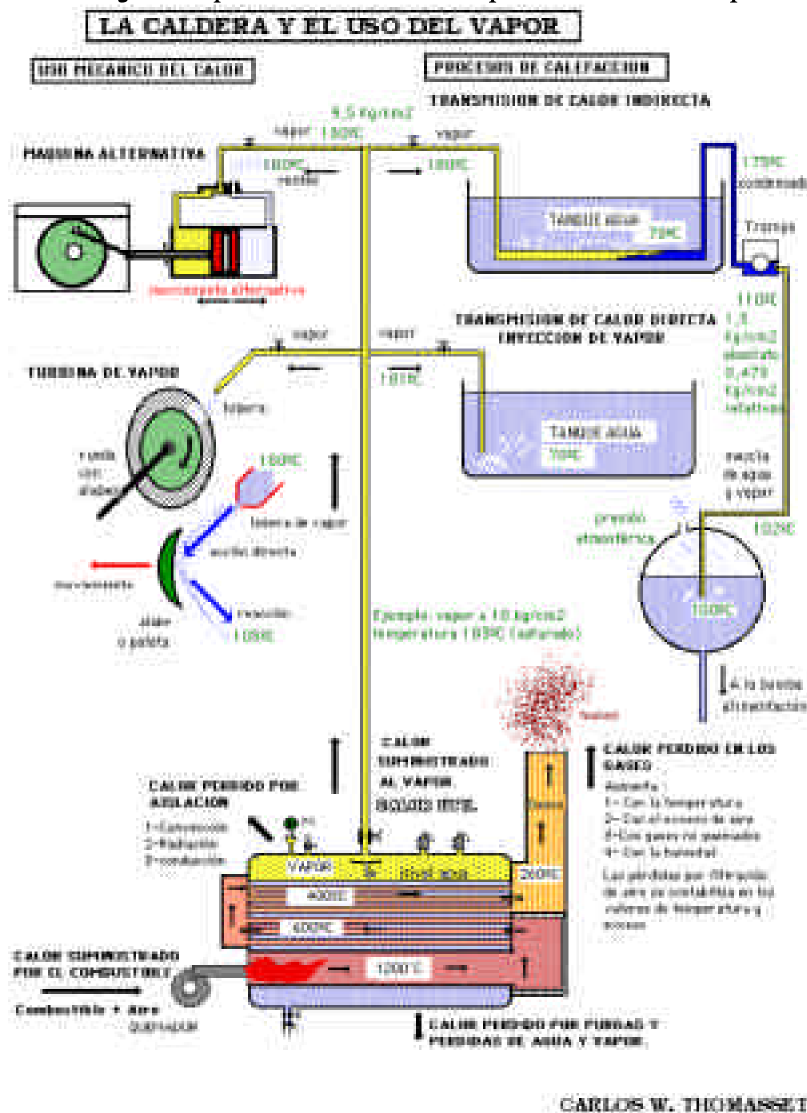
Se denomina **caldera de vapor** a un recipiente cerrado, destinado a producir vapor de agua a presiones superiores a la atmosférica, por utilización del calor que se genera al quemar un combustible sólido, líquido o gaseoso.
**"Calderas Marinas" de Moíses Romero Villanueva.**

Se denomina **Caldera** : un recipiente cerrado en el cual se calienta agua, se genera vapor, se sobrecalienta vapor o una combinación de ambos, bajo presión o vacío con aplicación directa de calor. El término caldera también podrá incluir unidades con combustión para calentamiento o vaporización de otros líquidos que no sean agua, siendo estos sistemas cerrados dentro de si mismos.
**The American Society of Mechanical Engineers.**

**En este pequeño manual denominaremos Caldera de vapor y nos referiremos a ella en la siguiente definición:** Recipiente cerrado para la producción de vapor de agua: para el transporte de calor o su transformación en fuerza motriz, calentado directamente por la combustión de un elemento líquido, gaseoso o sólido en contacto con el aire. Dotado de dispositivos para el control y la seguridad de su funcionamiento.

Descartamos para este pequeño manual: la calderas a calentamiento eléctrico, las calderas de fluidos térmicos, calderas de recuperación, hornos, etc., pudiendo haber elementos tratados aquí que puedan estar asociados a las mismas.

Esta definición anterior nos esta diciendo que l**a Caldera es un elemento transformador del** "**calor químico**" que se encuentra latente en un combustible y que al ser "quemado" en el aire (**combustión**), libera calor que es transportado a través de la pared de metal de un recipiente que contiene al agua y que ésta agua al tomar el calor aumenta su temperatura (**calor sensible**) hasta que se evapora (**calor latente**), transportándose este calor en el vapor hasta su utilización como **calor** (calefacción de procesos) o **trabajo** (máquina alternativa a vapor, turbinas a vapor, etc.).




Como vemos, hay una cantidad de elementos que entran en juego para el funcionamiento de una caldera.

**Para lograr entender y poder hacer funcionar correctamente y eficientemente a una caldera, es necesario el conocimiento de estos elementos y su comportamiento.**

**Para poder estudiar a la caldera de vapor**, vemos que es necesario dividir el tema en:

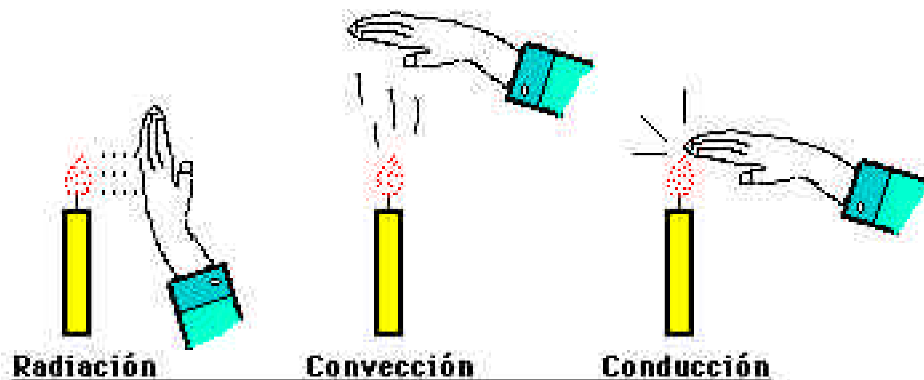


## 1-La Caldera Elemental

Definiremos la caldera elemental para poder entrar en los distintos temas con un pequeño conocimiento de la caldera en sí.

Como hemos visto en las definiciones anteriores, la caldera es un recipiente cerrado de hierro y tubos (en acero especial para calderas) que está compuesto por partes en que circula el agua y partes en que circulan los gases calientes que transmiten el calor al agua. De acuerdo a las leyes de la física, este calor se transmite a través de las paredes metálicas desde los gases más calientes hacía el agua o vapor que se encuentran más fríos.

El calor se transmite de tres formas diferentes: **radiación, convección y conducción.**

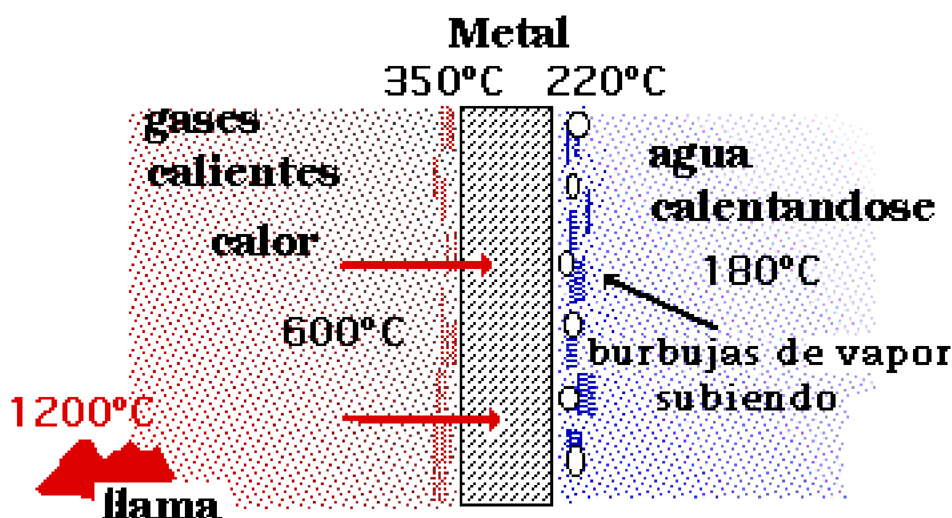



Ninguna de las formas de transmitir el calor existe sola en la vida práctica, siempre están combinadas entre sí. Ejemplo : Si bien el calor suministrado por una estufa eléctrica del tipo "radiante" (las de cuarzo, "rulos", etc.), el calor predominante es del tipo de radiación, sus elementos calefactores y los objetos que la rodean se calientan por radiación y estos calientan a su vez el aire que los rodea por conducción. El aire al calentarse transporta el calor por convección al ambiente (circula al disminuir su densidad), calentando a su vez otros objetos, etc.

Más adelante veremos los problemas de transmitir este calor a través del metal entre un

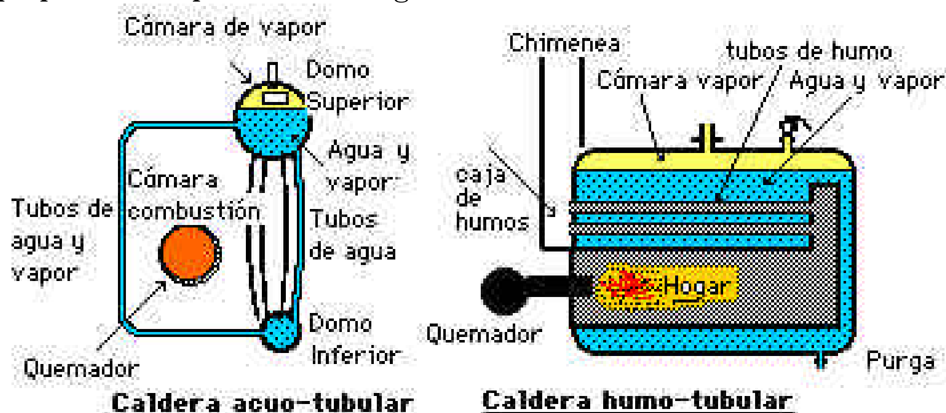
gas y el agua (o vapor).

De acuerdo a la posición relativa de la circulación de los gases y del agua, encontraremos la **primera gran división en la construcción de las calderas: calderas acuo-tubulares** (el agua circula en el interior de los tubos) y **calderas humo-tubulares** (o piro- tubulares , el gas circula en el interior de los tubos).

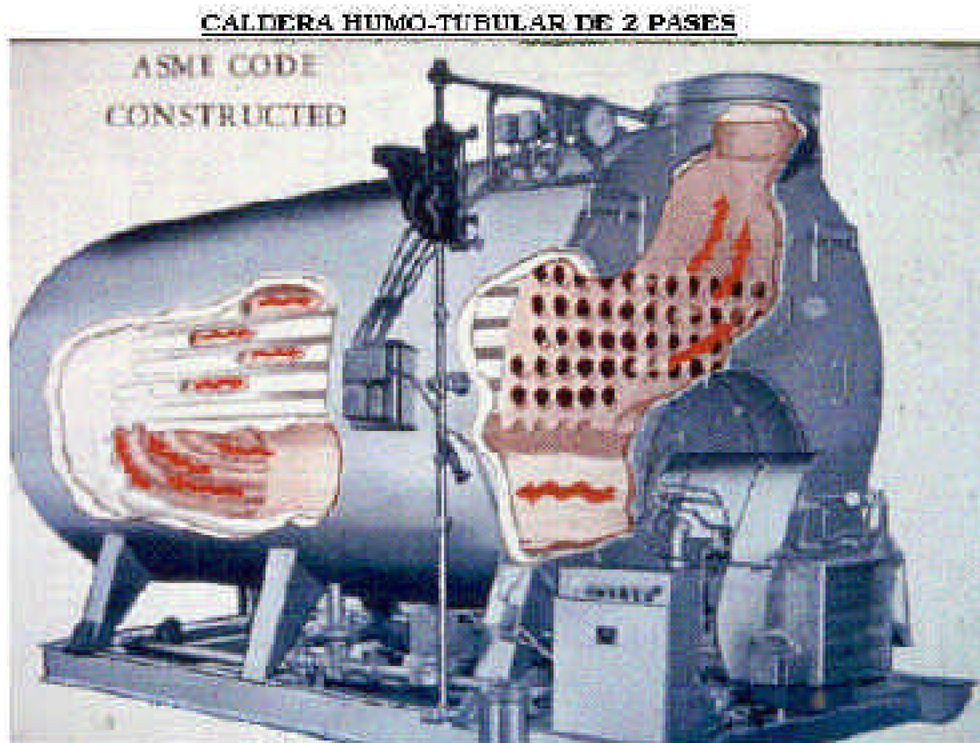



**La caldera acuo-tubular** está compuesta por recipientes (domos y colectores) que están unidos por tubos por los que circula el agua y el vapor. Estos rodean una cámara de combustión, cuyo calor es transmitido a los tubos desde el exterior.

A estas calderas se les llamó "inexplosivas" por el comportamiento a las "explosiones" o accidentes . (Esto no es tan así cuando se dan condiciones de operación equivocadas, siendo propensas a explosiones de hogar).




**La caldera humo-tubular** está compuesta de un recipiente atravesado por un hogar cilíndrico (normalmente, pudiendo ser en forma de bóveda en algunos casos) y por tubos, en los cuales circulan los gases de combustión por su interior. Estas son las calderas más comunes que encontraremos en plaza, cuya presión de trabajo esta limitada por el tamaño de su cuerpo (somete al material a grandes tensiones).



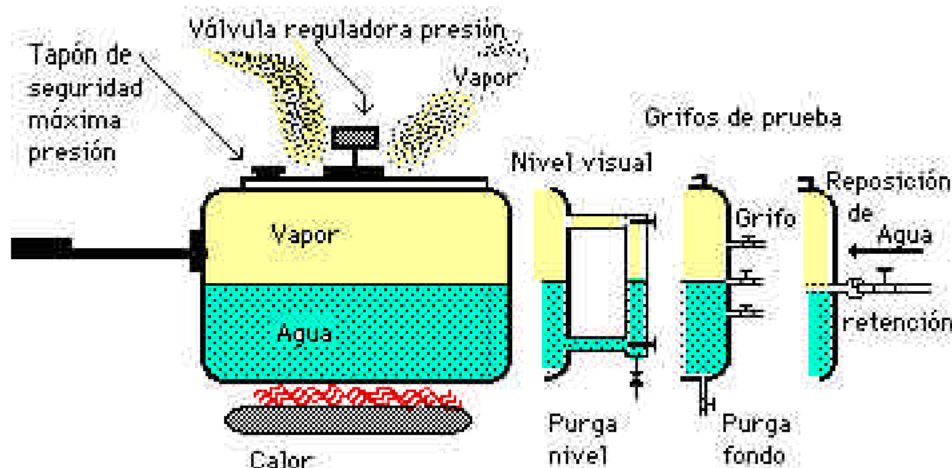

**La caldera más elemental que podemos suponer es la "olla a presión",** que se utiliza para cocinar, **pero que no cumple la función de una caldera: producir vapor para su utilización exterior** (aunque su función es igual a un " digestor": producir temperaturas de cocción mayor a 100ºC, siendo la temperatura de 100ºC la de ebullición del agua en una olla común sometida a la presión atmosférica). Por estar sometida al fuego directo podemos asimilarla a una **caldera muy elemental** a la que debemos agregar los elementos faltantes para que sea una caldera de vapor.

En la olla a presión tenemos un cierto **nivel de agua y una "cámara de vapor"** (lugar que ocupar á el vapor de agua al levantar presión y evaporarse parte del agua). Esta olla tiene una válvula de presión máxima de trabajo, que permite elevar la presión del vapor (y con ello la temperatura en su interior) hasta un valor limitado a lo necesario (que asimilaremos a una válvula de regulación de presión y de seguridad) y como mecanismo de seguridad de máxima presión a un tapón que salta a una presión más alta de vapor (que asimilaremos como como una válvula o sello de seguridad de máxima). En la olla a presión cuando se ha llegado a una presión en que la válvula de regulación abre, se baja el fuego para que disminuya la pérdida de vapor a la atmósfera y la olla no se quede sin agua .

Lo que en la olla a presión se busca es tener una temperatura mayor a 100ºC, o sea que la presión del vapor sea mayor que la presión atmosférica .

En esta olla hay grandes diferencias con la caldera, veamos cuales son :

1- Su función no es producir vapor para su consumo, ya que la cantidad de agua es insuficiente, **si pensáramos en utilizar su vapor**, deberíamos conectar una cañería **con presión** de agua mayor que la del interior de la olla, una válvula para regular la cantidad de agua que entra y **un control de nivel** para saber el nivel o cantidad de agua que hay su interior . Todos sabemos que si se queda sin agua, el metal se "quema" al estar en contacto con el fuego (altas temperaturas), siendo este el motivo más importante de los accidentes con calderas................................................




El nivel visual (de vidrio especial), deberá tener una protección en caso que se rompa y "explote" , y válvulas de conexión (para el momento en que se rompa), buena iluminación y una válvula de purga para sacar las "suciedades" que lo puedan "taponar" (estas suciedades son barros que se forman por la precipitación de las sales que trae el agua).

Como en este tubo pueden taparse sus conexiones a la cámara de vapor y a la cámara de agua (o romperse el tubo con la caldera funcionando, o la caldera quedar sin nivel de agua visual: como ser un **alto nivel** en que solo hay agua en el tubo o un **bajo nivel** en que solo hay vapor, en ambos casos a simple vista no se puede saber en cual de los dos casos estamos, a veces purgando el nivel se puede determinar, pero no es fácil), **por eso, debe haber algún sistema para poder comprobar en forma fácil si el nivel de agua está dentro de un determinado valor** (cubriendo la superficie de metal que "calientan" los fuegos). Se instalan **3 grifos de prueba de nivel**, en los que por: el superior sale sólo vapor, en el inferior sólo agua (y vapor de "flash"- agua que se evapora por menor presión) y en el central saldrá según el" nivel" este por encima (agua) o debajo del mismo (vapor).

2-**La presión del vapor** que se deberá producir no se controlará tirando vapor a la atmósfera, sino **controlando la cantidad de fuego**. Para ello debemos tener en el sistema de combustión (cualquiera sea el combustible) un sistema de **regulación de la cantidad de combustión**. Normalmente para los **combustibles líquidos y gaseosos**, regularemos la **cantidad del combustible y el aire** que entran en la cámara de combustión, en forma manual o automática. En los **combustibles sólidos** (leña, carbón, etc.) **regularemos el aire** (sin aire no hay combustión) en forma manual o automática (ya que la leña o carbón están en el hogar en una cantidad importante, que no podremos sacar, sí luego, disminuir o aumentar su carga horaria).

3-Veremos que la **cantidad de vapor máxima** que se producirá **dependerá de la cantidad máxima de combustión**, pero ésto está limitado por la superficie del metal que transmite el calor. Si queremos más vapor debemos **aumentar la "superficie de calefacción"** (superficie de metal que esta expuesta por un lado al calor de combustión y por el otro lado al contacto con el agua - o mezcla de agua y vapor). Para lograr ésto y para aprovechar mejor el calor, se llegó a la necesidad de hacer pasar los "humos" (gases calientes de la combustión), por entre los tubos, creando la **caldera "humo-tubular" o caldera "piro-tubular" .**

Posteriormente , debido a la necesidad de trabajar a **mayores presiones y con mayor seguridad** , se creó **la caldera "acuo-tubular" o a "tubos de agua" .**

Si observamos las calderas desde el punto de vista del valor de su presión de trabajo, podemos establecer 3 campos arbitrarios : Calderas de **bajas presiones**, calderas de **presiones medias** y calderas de **altas presiones**. Esta división también está normalizada por distintas Asociaciones (normas), pero nosotros la dividiremos arbitrariamente de acuerdo a nuestro entender, basándonos fundamentalmente en la presión relacionada con la calidad de agua a usar (veremos más adelante la importancia del agua a usar respecto a la presión de trabajo y al tipo de caldera) y diremos cuales tipos de calderas se encuentran en dichas presiones:

**Calderas de baja presión**: Hasta 10 Kg/cm2 (predominan la "humo-tubulares").
**Calderas de media presión**: Hasta 30 Kg / cm2 (pasando los 20 Kg/cm2 predominan las "acuo-tubulares ).
**Calderas de alta presión**: de más de 30 Kg/cm2 (sólo se encuentran del tipo "acuo-tubulares").

4- A nuestra Caldera Elemental (la olla a presión) **para que cumpla la función de caldera de vapor le debemos instalar un manómetro para saber la presión** del vapor (generalmente la presión se trata de mantener constante), y con él **controlaremos la necesidad de mayor o menor combustión** (sin el manómetro es imposible controlar una caldera, ya veremos que **a cada presión corresponde sólo una temperatura cuando el agua y el vapor puro se encuentran en un recipiente cerrado**).

**Una válvula de salida del vapor** (para abrir y cerrar el vapor suministrado al consumo), **una válvula de purga de "fondo"** (para extracción de los barros y de las sales disueltas que se acumulan en el agua de la caldera, producto de la sales que trae el agua que introducimos y de los productos químicos para su tratamiento). Para introducir esta misma agua necesitaremos **una bomba de agua con la presión suficiente** que pueda vencer la presión interna de la caldera (Esta bomba deberá estar conectada a la caldera con una válvula de "retención", que permita que el agua entre a la caldera cuando se conecta la alimentación, pero que la presión de la caldera no pueda "vencer" a la presión de la bomba en algún momento que la presión de la misma sea menor, o se pare la bomba y pueda salir el agua de la caldera).

La válvula reguladora de presión pasará a llamarse **válvula de seguridad** (cuya función será descargar el exceso de presión en caso que no podamos reducir a tiempo la cantidad de combustión).

**Deberá haber un "tapón fusible"** (para que se "funda" -por el calor -y descargue la presión en caso que la caldera se quede sin agua o baje el nivel de agua por debajo de un límite, supuestamente "capaz de apagar el fuego" con su descarga de vapor o por lo menos avisar que se produce en bajo nivel de agua para parar la combustión). Antiguamente, también se ponía el tapón como un limitador de temperatura por elevación de presión, pero se hace muy incierta la temperatura de fusión, dado que los materiales de fusión (estaños y otros, combinados) se alteraban en su composición con las condiciones de operación (cambios de temperatura, exposición al medio,etc.), cambiando su temperatura de fusión. Actualmente se trata de usar materiales puros que no se alteren, como ser el estaño puro, cuya única función es la de controlar la presencia de agua ("fundiendo" por el calor en caso de falta de agua).

Para la puesta en marcha, cuando la caldera esté fría, debemos tener **un "grifo atmosférico"** para sacar el aire del interior de la caldera al calentar la misma (o romper el vacío al vaciarla) y como ésto habrá una serie de accesorios que en algunos casos son necesarios (no imprescindibles) o imprescindibles como los anteriores nombrados.

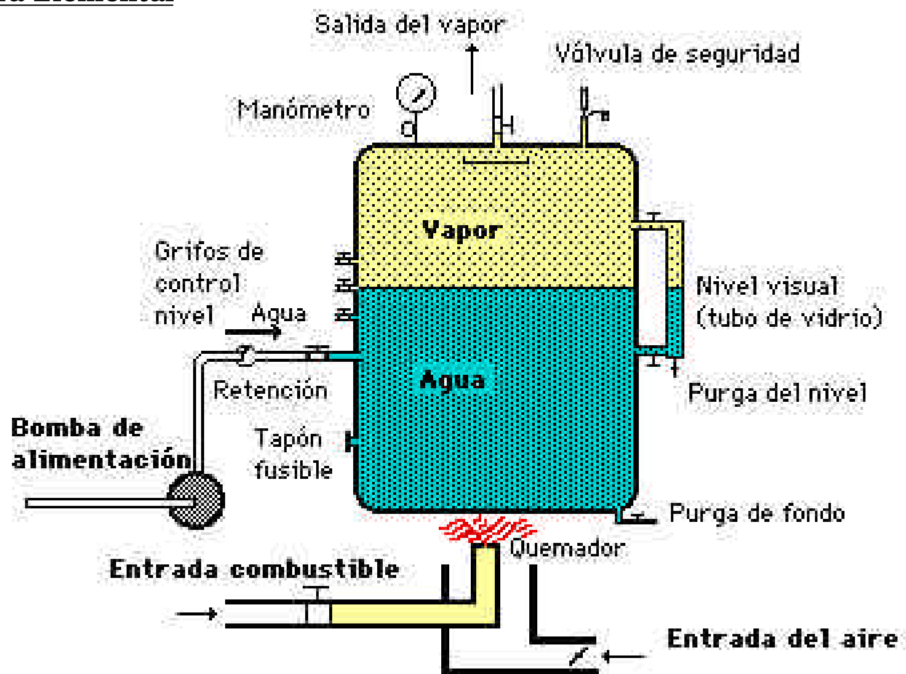
**Nuestra "olla a presión" quedará transformada en caldera de vapor al tomar todos estos elementos mínimos necesarios:**

Manómetro. Control de nivel visual. Válvulas de seguridad. Control de nivel directo ( grifos). Tapón fusible. Purgas de nivel y fondo. Bomba de alimentación y sus válvulas de control y retención. Válvula de salida de vapor. Control del combustible y del aire y otros accesorios necesarios o imprescindibles de acuerdo al diseño deseado de funcionamiento de la caldera.

Debemos dejar en claro que **la presión** no sólo **controla la temperatura del vapor**, sino que ella **será nuestro límite para controlar el esfuerzo que deba soportar el recipiente**. (límite de presión máxima de trabajo).

Esto significa que si traspasamos el límite de presión de trabajo, estamos corriendo el riesgo de que el recipiente a presión o sea caldera, pueda romperse y su expansión en la presión atmosférica, no solo provoque daños estructurales, también térmicos ("quemaduras") y efectos secundarios, como una segunda sobre-presión sobre las paredes del recinto y a su vez la "voladura" de dicho recinto (paredes, techos, etc).

**Caldera Elemental**

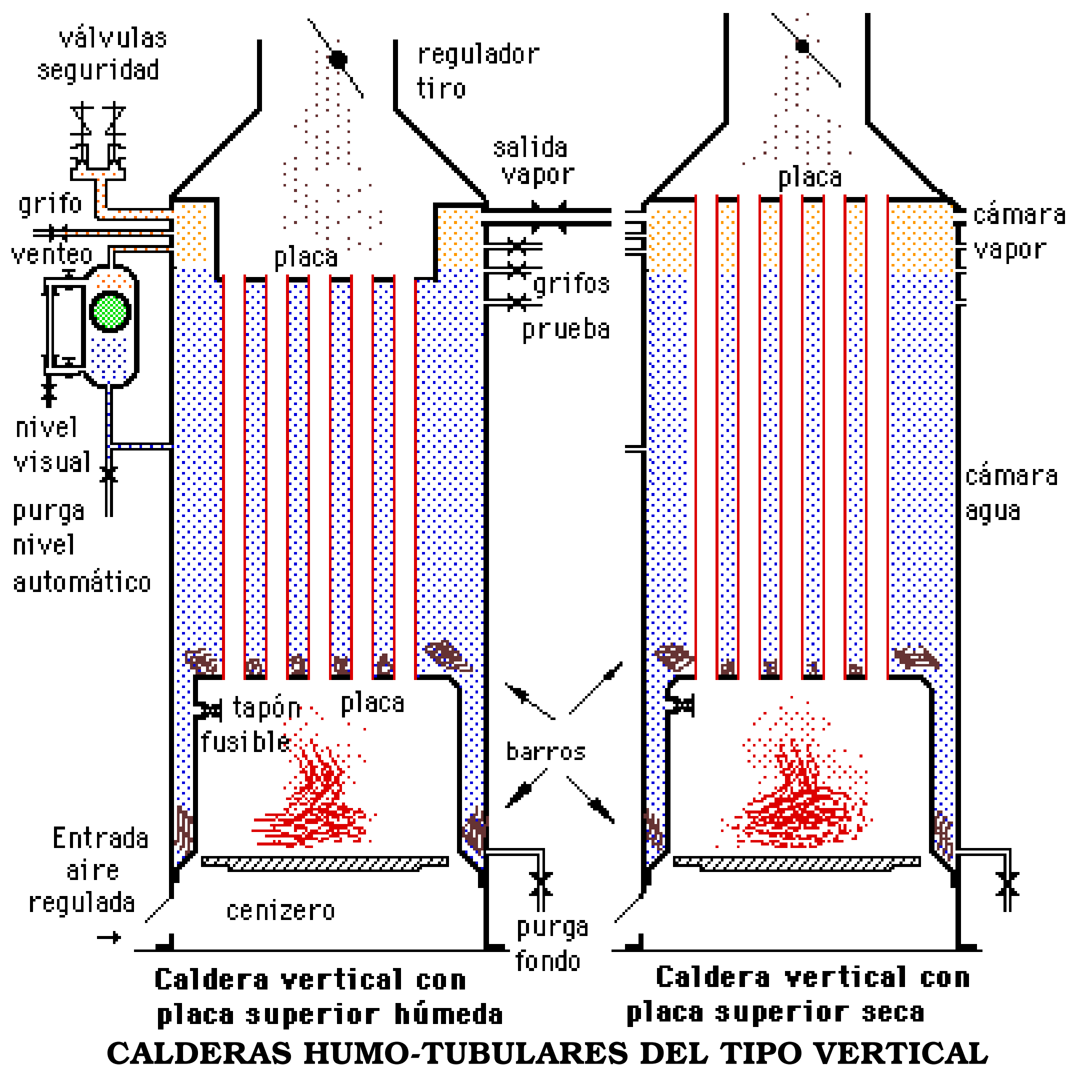



A esta caldera le faltan otros elementos necesarios, pero no imprescindibles, que ya veremos en los temas venideros.

**RESUMEN:**

Esta Caldera elemental funciona tomando el calor producido por la combustión, cantidad de calor que podremos regular de acuerdo a la necesidad (mantener la presión de trabajo), ajustando la cantidad de combustible y aire. Este calor es transmitido al agua (mezcla de agua y vapor) a través del metal, produciendo la vaporización del agua, primero elevando su temperatura (calor **sensible**) y luego evaporando la misma (calor **latente**).

Este vapor se deja "empujar" por la presión generada hacía las cañerías dónde será "consumido" (condensado). La cantidad de agua que entra por la alimentación debe ser igual a la cantidad de agua que se evapora más la que debemos de extraer por la purgas y pérdidas. Tenemos las protecciones suficientes para mantener la presión en un límite máximo y mantener el nivel de agua adecuado. Siendo el tapón fusible una protección para el caso de que nos quedemos sin suficiente nivel de agua y no podamos "apagar" el "fuego".




**CALDERAS HUMO-TUBULARES DEL TIPO VERTICAL**

## 2- El agua y el vapor

### Parte -1 **El vapor:**

**El agua** es el elemento (que en forma de vapor) **se encargará de transportar el calor** generado en la combustión (oxidación rápida del combustible) al punto o lugar en donde este calor se utilizará para un proceso térmico o mecánico. Allí volverá a ser agua (condensado) que se recuperará o no.

Esto significa, que el agua sólo interviene como una "cinta transportadora de calor o de energía".

Pero, si bien es un medio **fácil de conseguir**, que **tiene muchas ventajas en su utilización**, **también tiene sus problemas.** Para ello debemos conocer su mecánica de funcionamiento y los problemas que su uso involucra.

En su uso estaremos utilizando la **presión** y la **temperatura** como parámetros permanentes para definir su condición, también nos referiremos a la **unidad de calor.**



**CUERPO DE CALDERA VERTICAL
LUEGO DE UNA EXPLOSION**

**50 litros de agua sobrecalentada
a 10 Kg/cm2 de presión con 183ºC
de temperatura, equivalen a 1 Kgr.
de pólvora.**

**DAÑOS QUE PUEDE PROVOCAR LA PRESIÓN DEL VAPOR Y AGUA EN UNA CALDERA** (en este caso una caldera vertical)

Aclararemos estos términos : **Presión**: Podemos definirla como la expresión que indica las unidades de fuerza que son aplicadas por unidad de superficie.

De acuerdo a las unidades utilizadas para medir la fuerza y las unidades de superficie, podremos hablar de Kilogramos por centímetro cuadrado: Kg/cm2, Libras por pulgada cuadrada: Lb/pulg ó Lb/#, etc.
También podrá referirse a la comparación con otras presiones: como la presión atmosférica, la presión de que ejerce una altura (expresada en m., cm, mm ó pulgadas) determinada de agua u otro líquido (por ejemplo : mercurio ), etc.
Todas estas unidades pueden ser expresadas en forma equivalente si para ello utilizamos un factor de conversión .

Por ejemplo:

1 Kg./cm2. lo multiplicamos por 14,22 nos da la presión en Libras/Pulg.2.
1 Kg./cm2. lo multiplicamos por 10 nos da la presión en metros de columna de agua.

**La presión que indican los manómetros por lo general es la presión "relativa"** (gauge en inglés) **.**

**La presión "absoluta" es la suma de la "presión atmosférica" más la presión "relativa"**

# PRESION

## PRESION = FUERZA POR UNIDAD DE SUPERFICIE




**FUERZA...... KGR. , LIBRAS, etc.**
**SUPERFICIE ....CM2, PULGADA 2, etc.**
**PRESION .....Kgr/cm2, Libras/pulg.2 y otras como Atmósferas, Bars, Pascal, m.c.a., etc.**

**¿Pero qué es la presión en líquidos y gases (vapores ) ? :**

**Es la fuerza que ejercen las moléculas sobre las paredes que las confinan** (guardan o soportan). La molécula es la más pequeña parte que puede estar libre de una sustancia química pura y que puede identificarse como tal - si partimos una molécula, ella dejará de ser esa sustancia para transformase en otra. Si despreciamos el esfuerzo del peso de los líquidos y gases (vapores) y consideramos el peso de las moléculas como proyectil, veremos que dichas partículas ejercen la presión en forma de "golpes" sobre las paredes (de los recipientes), dichos "golpes" los podemos aumentar "achicando el recipiente " (o aumentando la cantidad de sustancia dentro del recipiente) o haciendo que las moléculas aumenten su velocidad (número de golpes) **aumentando su temperatura** ( su nivel de energía ).

Es decir, podemos aumentar la presión "empujando" (bomba) el fluido o aumentando la energía de dicho fluido (suministrandole calor: como en las calderas).

Como estos "golpes" se suceden en forma continua y "chocando" con las paredes del recipiente, ésto hace que **la presión se ejerza igual en todos los sentidos** (ésto no es tan así cuando consideremos la presión ejercida por el simple peso - cuando "más abajo" se encuentre una pared del recipiente mayor será la presión que deba soportar debido al peso "puro" de la sustancia: fuerza de gravedad).



EXPLOSION DE PEQUEÑA CALDERA DE CALEFACCION EDIFICIO

Veremos que **un recipiente a "presión" no necesariamente "explota" con gases comprimidos en su interior, sino que dichos gases se pueden formar y expandir, a partir de los líquidos "sobrecalentados"** (como el agua caliente con temperaturas superiores a 100ºC u otros gases a menos temperatura, como los utilizados en refrigeración (amoníaco, freón, etc) o aún para apagar incendios como el CO2. Estos líquidos "sobrecalentados", al entrar en contacto con presiones menores, se vaporizan y se "expansionan", creando un volumen muchas veces mayor al que ocupan, como es el caso de la fotografía anterior, en donde una relativamente "pequeña" caldera de calefacción, por alguna razón el agua subió su temperatura muy por encima de 100ºC y provocó una alta presión en el recipiente que lo hizo "explotar" y a su ves la expansión del vapor sobre las paredes (de gran superficie) ejerció su presión y con ello un gran esfuerzo (por la gran superficie), que provocó lo que la imagen muestra (realmente la explosión de una bomba).

En las calderas **utilizaremos los manómetros** para medir la presión, debemos fijarnos bien en **qué unidades de presión** está "marcado" (en qué unidades indica la presión) y si corresponde a **lecturas absolutas o relativas**.

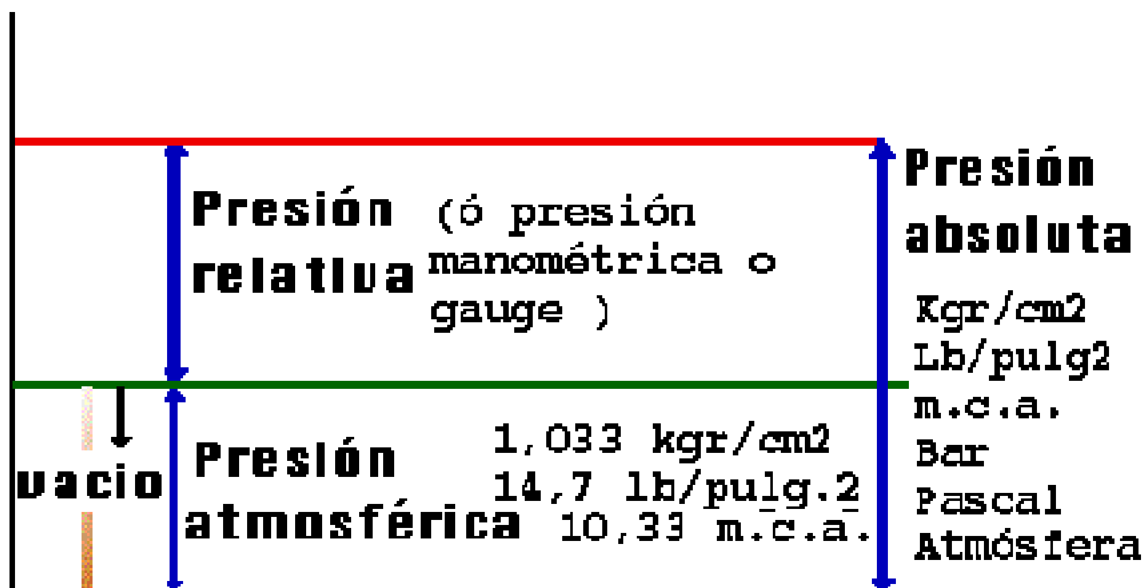
La **presión absoluta** es aquella que marca un manómetro que tiene la indicación de la

presión atmosférica (Indica aprox. 1 cuando sus unidades sean expresadas en Atmósferas, 1,033 en Kg./cm2 o 14,7 cuando indica Libras por Pulg.2.) cuando su conexión la exponemos a la atmósfera (es decir que para que indique cero de presión debemos de hacer "vacío " total en su conexión o toma).

La **presión relativa** o "manométrica" ("gauge" en ingles) es aquella que indica un manómetro que tiene la indicación de cero cuando su conexión se encuentra expuesta a la atmósfera .

**La presión absoluta** es igual a la **suma de la presión manométrica** más **la presión atmosférica** (expresadas en **igual unidades**, sumamos : 1,033 en Kg./cm2 , 1 en Atmósferas ó 14,7 en Lb/Pulg.2, etc.)**.**

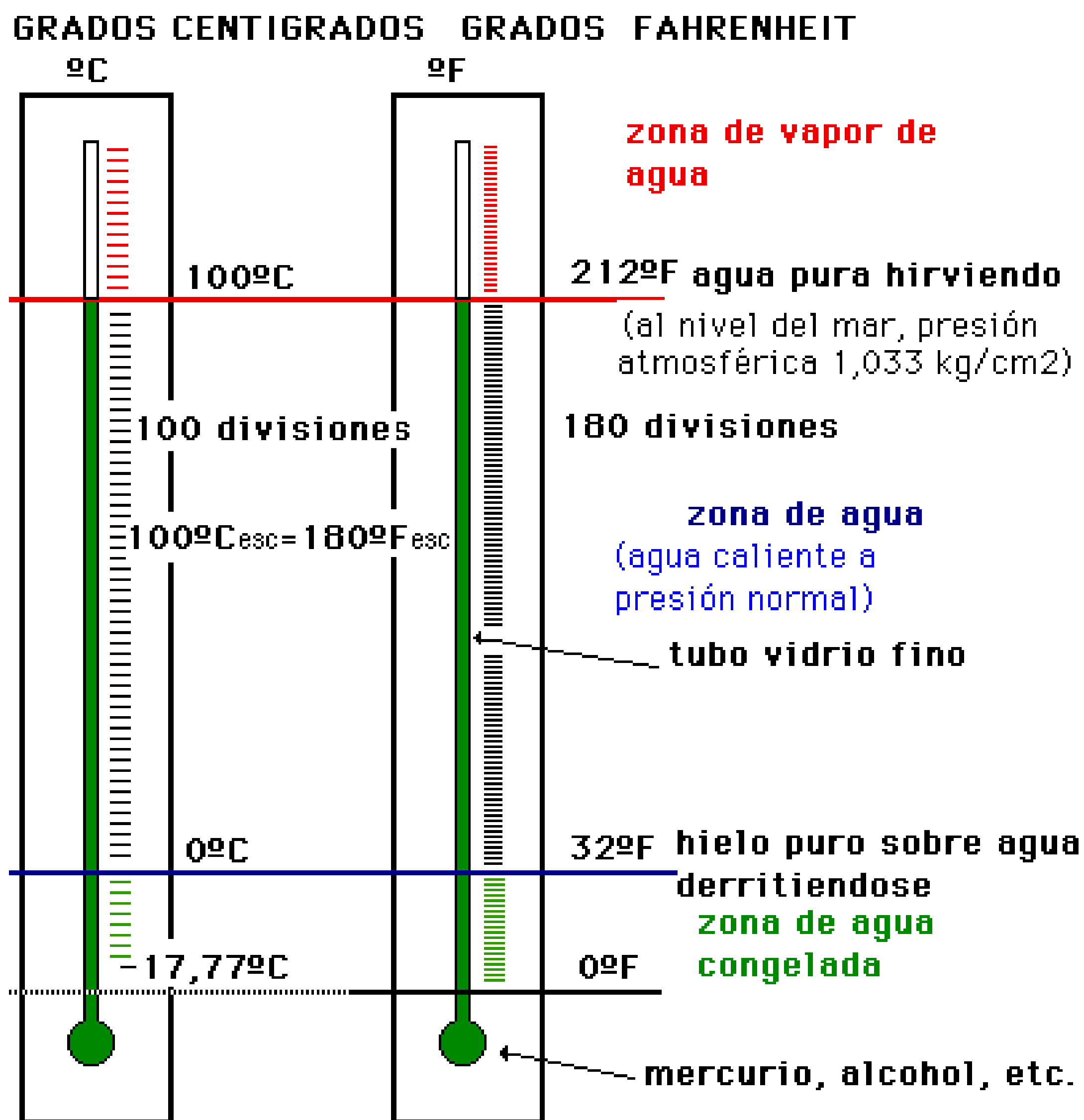
Debemos ser muy cuidadosos cuando decimos una presión de aclarar a cual de las dos nos estamos refiriendo. (Generalmente la presión de los manómetros es relativa, por eso se llama a la presión relativa :"manométrica" ó "gauge" en ingles).




**Los manómetros de caldera son adecuados para este uso** (precisión y temperatura), siendo importante su verificación cada tanto tiempo (puede variar por desgaste o fatiga), dado que el esfuerzo que soporta la caldera estará indicado por dicha presión.

La presión del agua y del vapor en una caldera, tratándose de vapor saturado y agua a

temperatura de ebullición, acumulan una energía térmica que si se "desata" en una energía mecánica (expansión), cuando el recipiente que las contiene y confina (caldera) sufre un rotura (por exceso de presión, mala construcción, "envejecimiento" térmico o mecánico, corrosión o sobrecalentamiento, etc.) produce la rotura del recipiente y se transforma en una onda expansiva que ejerce una presión sobre las paredes que la rodean o elementos que se interpongan en su camino, con consecuencias catastróficas. Véase la figura anterior de una caldera vertical, que luego de la rotura o explosión, la misma fue proyectada a cientos de metros del lugar en donde estaba instalada.



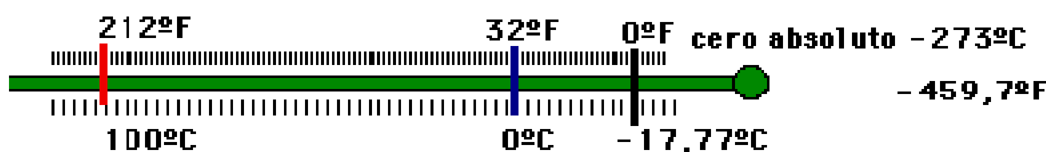

**Los termómetros superiores se suponen que están expuestos a la presión atmosférica estándar** (al nivel de mar, cuya presión atmosférica es de 1,033 Kg/cm2), para las condiciones de medida sobre el agua, su vapor o agua congelada (hielo).

**La temperatura la podemos definir como la indicación del grado** (nivel de energía) **de calor de los cuerpos**. Su indicación numérica depende a que grados de temperatura está referida y desde que punto parte esa medida (cual es su cero). Veremos que trabajaremos generalmente con dos sistemas de unidades: **grados centígrados (ºC ) o grados Fahrenheit (ºF).**

La temperatura se mide con los **termómetros** (elemento sensible a la temperatura), los cuales tienen indicada la escala a la cual se refiere ( **ºC** ó **ºF**).

Para establecer ambas escalas se utiliza la propiedad del **agua pura** que se descongela siempre a la misma temperatura (a presión atmosférica a nivel del mar) estableciendo la misma como **0ºC** ó **32º**F y de que hierve a la misma temperatura en un recipiente abierto (a presión atmosférica a nivel del mar) a **100ºC** ó **212ºF**. Si dividimos dicha escala (la dilatación del mercurio, alcohol, de un elemento metálico, etc.) en **100 partes**, tendremos **1** grado centígrado (**1ºC** ) y si dividimos en **180 partes** obtendremos una parte equivalente a **1** grado Fahrenheit (**1ºF**). Podremos pasar de una escala a la otra haciendo una conversión:

**( ºC x 9/5 + 32 ) = ºF** **( ºF - 32 ) x 5/9 = ºC**




$$1ºC = \frac{5}{9}\,ºF \qquad ºC = (ºF - 32) \times 5/9 \qquad ºF = ºC \times 9/5 + 32$$

**TEMPERATURAS ABSOLUTAS:**

Grados KELVIN........ ºC + 273 = ºK

Grados RANKINE...... ºF + 459,7 = ºR

**Unidad de calor :** Definiremos la Unidad de calor como la **cantidad de calor necesaria** que hay que suministrar a **una unidad de agua pura para que se eleve en un grado su temperatura** en determinado rango (de 15ºC ó 17,5ºC para la caloría).

De acuerdo a las unidades tendremos :

**1 Kilo-caloría** = a elevar **1 ºC** la temperatura de **1 Kg.** de agua pura.

**1 B.T.U.** = a elevar **1 ºF** la temperatura de **1 libra** de agua pura.

Podemos establecer la relación entre ambas, relacionando sus unidades bases: **Kilo-Caloría x 3,968 = B.T.U.** **B.T.U. x 0,252 = Kilo-Caloría**

Como vemos, estamos hablando de los dos sistemas más comunes de unidades en nuestro medio, el sistema " métrico " y el " inglés ".

AGUA
1 LTR.
1 KGR.

Kcal.
1 KILO CALORIA = CALOR PARA AUMENTAR 1ºC A 1 KGR DE AGUA

BTU
1 BRITISH THERMAL UNIT = CALOR PARA AUMENTAR 1ºF A 1 LIBRA DE AGUA

1 BTU = 0,252 KCal 1 Kcal =3,968 BTU

VAPOR SATURADO ES AQUEL QUE TIENE LA MISMA TEMPERATURA QUE EL AGUA DE CONDENSACION EN CONTACTO

CALOR SENSIBLE
SE NECESITAN 100 KCal. PARA CALENTAR DE 0ºC A 100ºC 1 KGR. DE AGUA

CALOR LATENTE
SE NECESITAN 539,4 Kcal. PARA EVAPORAR 1 KGR DE AGUA A PRESION ATMOSFERICA
De 100ºC a 100ºC

1Kgr. hielo

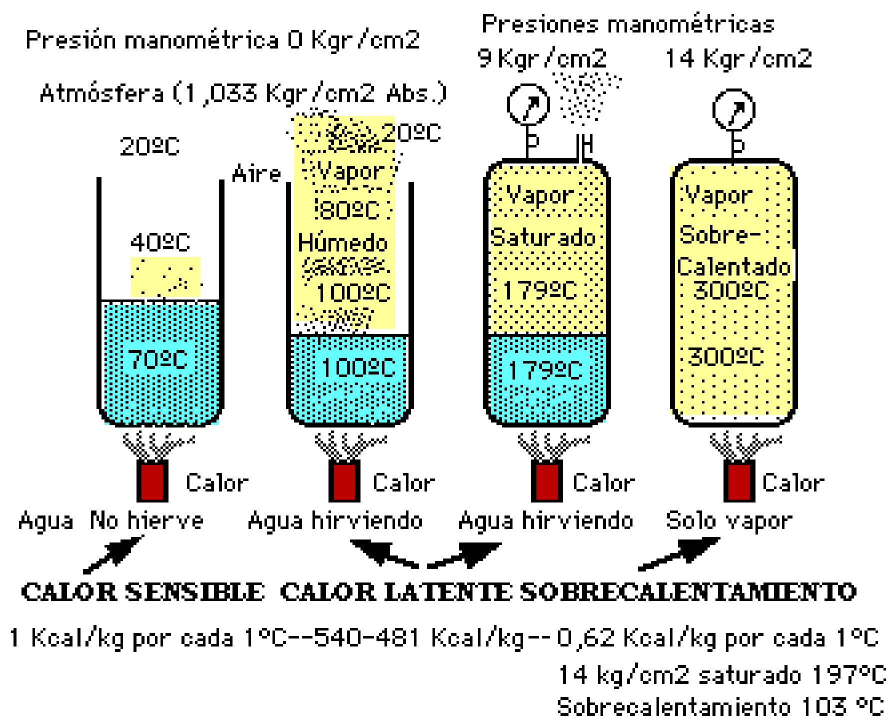
1 KGR. DE VAPOR DE AGUA A PRESION ATMOSFERICA OCUPAN 1,725 M3.
1KGR. DE VAPOR DE AGUA A 10 KGR./CM2 PRESION OCUPAN 0,180 M3

SE NECESITAN 80 Kcal. PARA DERRETIR 1 KGR. DE HIELO
BANCOS DE HIELO en industria lechera.

**Hablemos del agua y sus propiedades físicas y químicas .**

El agua (**H2O**) esta compuesta por dos elementos: el oxígeno **(O**) y el hidrógeno **(H**), dos átomos de hidrógeno **(H2**) y un átomo de oxígeno (**O**).

Se encuentra en la Tierra en cantidades muy importantes, casi siempre con otros elementos que " se disuelven " en ella. (Es el solvente universal por excelencia y cambia su comportamiento físico-químico al tener sustancias disueltas).




**Si consideramos el agua pura**, sabemos que tiene los siguientes parámetros: **Se congela a 0ºC** (32ºF) y **hierve** al nivel del mar en un recipiente abierto a **100ºC** (212ºF), **1 litro de agua (dm3)** a 4ºC pesa **1 Kg.** (al nivel del mar), si la hacemos hervir en un recipiente cerrado sin aire (ni otros gases) veremos que **a cada temperatura corresponde una determinada presión** .(Esta relación ocurre con el vapor saturado) .

Para derretir **1 Kg**. de hielo necesitamos **80 Kilo-calorías** y para calentar **1ºC** a **1 Kg.** de agua necesitamos **1 kilo-caloría** (kilo=1000 o sea 1000 calorías "pequeñas").

Cuando tomamos un recipiente con **1 Kg**. de agua pura y lo calentamos de **0ºC** a **100 ºC** necesitaremos aproximadamente **100 Kilo-calorías**, a este calor que los podemos "sentir" que aumenta con la temperatura lo llamaremos **calor sensible**.

Veremos que cuando calentamos el agua pura en un recipiente abierto (a la atmósfera y al nivel del mar, ver croquis anterior), **el agua hierve** a **100ºC**. Si **seguimos calentando veremos que la temperatura se mantiene en 100ºC, pero el agua se evapora** (se transforma en vapor ). Este calor que transforma el agua en vapor se llama **calor latente** (un calor que se encuentra en forma de energía - es decir: transformó al líquido en un gas - vapor- que al enfriarlo vuelve a transformarse en el líquido - agua - entregándonos nuevamente dicho calor).

Aclaremos qué significa **hervir** (ebullición): ésto se produce cuando en el seno del agua se nota un gran movimiento provocado por el rápido desprendimiento de burbujas de vapor, es decir que la presión del vapor que se genera, <u>supera a la presión del agua y del vapor</u> que lo rodean .(Puede haber evaporación aunque no se llegue a la temperatura de ebullición). La atmósfera esta compuesta por vapor de agua y gases (oxígeno, nitrógeno, etc). Este vapor de agua tiene una <u>presión parcial</u> correspondiente a la temperatura de esta mezcla y la cantidad de vapor presente en la atmósfera - formando la <u>humedad ambiente</u> (se expresa en meteorología como <u>% de humedad relativa</u>), proviene de la evaporación de océanos, lagos, ríos, etc. y hay un máximo (saturación, "punto de rocío") para cada temperatura y presión atmosférica.

Si al recipiente lo cerramos y calentamos el agua (dejando escapar el aire totalmente, empujado por el vapor), veremos que el vapor al no tener lugar para "expandirse ", empieza a a levantar la presión en el interior del recipiente (la presión en interior antes de cerrar es de 1 Atmósfera absoluta o sea 1,033 Kg/cm2 -14,7 Libras/pulg.2 -y la relativa o "manométrica" igual a 0). Se puede observar que la **temperatura del agua y del vapor es la misma** y **que ambas suben en forma correlacionada** (a cada temperatura le corresponde una determinada presión). Si volvemos a enfriar y volvemos a calentar dichos valores de temperatura y presión volverán a ser los mismos que los anteriores (siempre que no haya otros gases mezclados con el vapor de agua). Este vapor que se genera y se encuentra en contacto con el agua se llama **vapor saturado** (seco o húmedo). En el caso de las calderas, como hay movimientos de circulación del agua en su interior, al "arrastrar" pequeñísimas gotitas podemos tener un vapor no saturado seco, sino saturado con humedad, se llama **vapor húmedo** y la cantidad de vapor total (que expresamos como 100%) menos la humedad que representa su % en peso, se llama "Título del vapor" (representa el % de vapor saturado seco en peso).

Si al recipiente cerrado con agua lo calentamos (con poca cantidad de agua), es decir logramos evaporar totalmente el agua, el vapor al recibir calor pasará a tener mayor temperatura y presión, pero una temperatura mayor que la presión correspondiente al caso anterior, **este vapor es vapor sobrecalentado.** (Este vapor es seco y puede absorber agua hasta su saturación, bajando su temperatura).

**La relación entre la temperatura del agua y la presión del vapor saturado en una caldera está en las Tablas de vapor saturado.**

**TABLAS DE VAPOR SATURADO**

| presión ATA | temperatura C° | calor total Kcal/Kgr. | calor agua Kcal/Kgr. | calor vapor Kcal/Kgr. | volumen m3/Kgr. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.05 | 32.55 | 611.3 | 32.55 | 578.9 | 28.7300 |
| 0.20 | 59.67 | 623.1 | 59.61 | 563.5 | 7.7930 |
| 0.50 | 80.86 | 631.6 | 80.81 | 550.8 | 3.3010 |
| 1.00 | 99.09 | 638.5 | 99.12 | 539.4 | 1.7250 |
| 2 | 119.62 | 645.8 | 119.87 | 525.9 | 0.9016 |
| 3 | 132.88 | 650.3 | 133.40 | 516.9 | 0.6166 |
| 4 | 142.92 | 653.4 | 143.60 | 509.8 | 0.4706 |
| 5 | 151.11 | 655.8 | 152.10 | 503.7 | 0.3816 |
| 6 | 158.08 | 657.8 | 159.30 | 498.5 | 0.3213 |
| 7 | 164.17 | 659.4 | 165.60 | 493.8 | 0.2778 |
| 8 | 169.61 | 660.8 | 171.30 | 489.5 | 0.2448 |
| 9 | 174.53 | 662.0 | 176.40 | 485.6 | 0.2189 |
| 10 | 179.04 | 663.0 | 181.20 | 481.8 | 0.1981 |
| 11 | 183.20 | 663.9 | 185.60 | 478.3 | 0.1808 |
| 15 | 197.36 | 666.6 | 200.60 | 466.0 | 0.1343 |
| 20 | 211.38 | 668.5 | 215.8 | 452.7 | 0.1016 |

Presión Atmosfera al nivel del mar es 1,033 Kg/cm2

Presión de trabajo 10 kg/cm2

Ejemplo: **partiendo de que una presión 1 ATA= 1 Kg/cm2** (no confundir con Atmósfera referida a la presión atmosférica en que 1 Atmósfera es igual a 1.033 Kg/cm2).

Para una presión de 11 ATA-Atmósfera Técnica Absoluta (o sea igual aprox. 10 Kg/cm2 relativos o manométricos), se tiene un temperatura de 183,2 ºC tanto en el agua como en el vapor. Para calentar el agua hasta la temperatura de vaporización (183,3 ºC) partiendo de 0ºC se necesitan 185,6 Kilo-calorías por Kg. de agua y para vaporizar ese Kg. necesitamos 478,3 Kilo-calorías. Es decir, que para vaporizar a una presión de 11 Atmósferas Abs., Técnicas (10 Kg/cm2 relativos 0 manométrico) 1 Kg. de agua partiendo de 0ºC necesitamos el total de 663,9 kilo-calorías . Estos valores están en las tablas de vapor. Ver tablas al final.

Esto nos permite calcular la cantidad de calor que necesitamos para producir cada Kg. de vapor (saturado seco) a determinada presión, con simplemente saber la presión de trabajo de la caldera y la temperatura del agua de alimentación:

Calor necesario para evaporar 1 Kg. agua = Calor Total de vapor - calor del agua Alimentación. (este calor será mayor debido a las pérdidas de calor en la caldera).

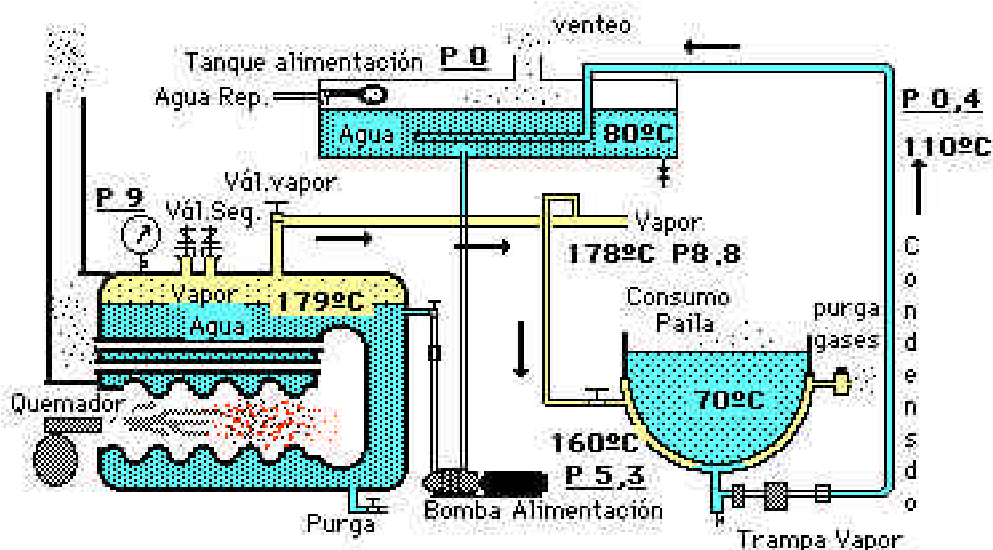
Como se comprueba en el ejemplo, el **calor más importante en cantidad por Kg.** es el debido al **calor latente o calor de vaporización**, el cual normalmente se usa condensando el vapor en los puntos de utilización .

Así como **sabiendo la presión en un vapor saturado sabemos su temperatura**, también **sabiendo sólo su temperatura sabremos su presión** . (Recordemos que vapor saturado es aquel que se encuentra en contacto con el agua que lo produce y no recibe más calor al ser evaporado ).

De lo anterior se deduce que **si sabemos la presión de un vapor saturado, sabremos su temperatura y la cantidad de calor que es capaz de aportarnos donde lo utilizamos**:

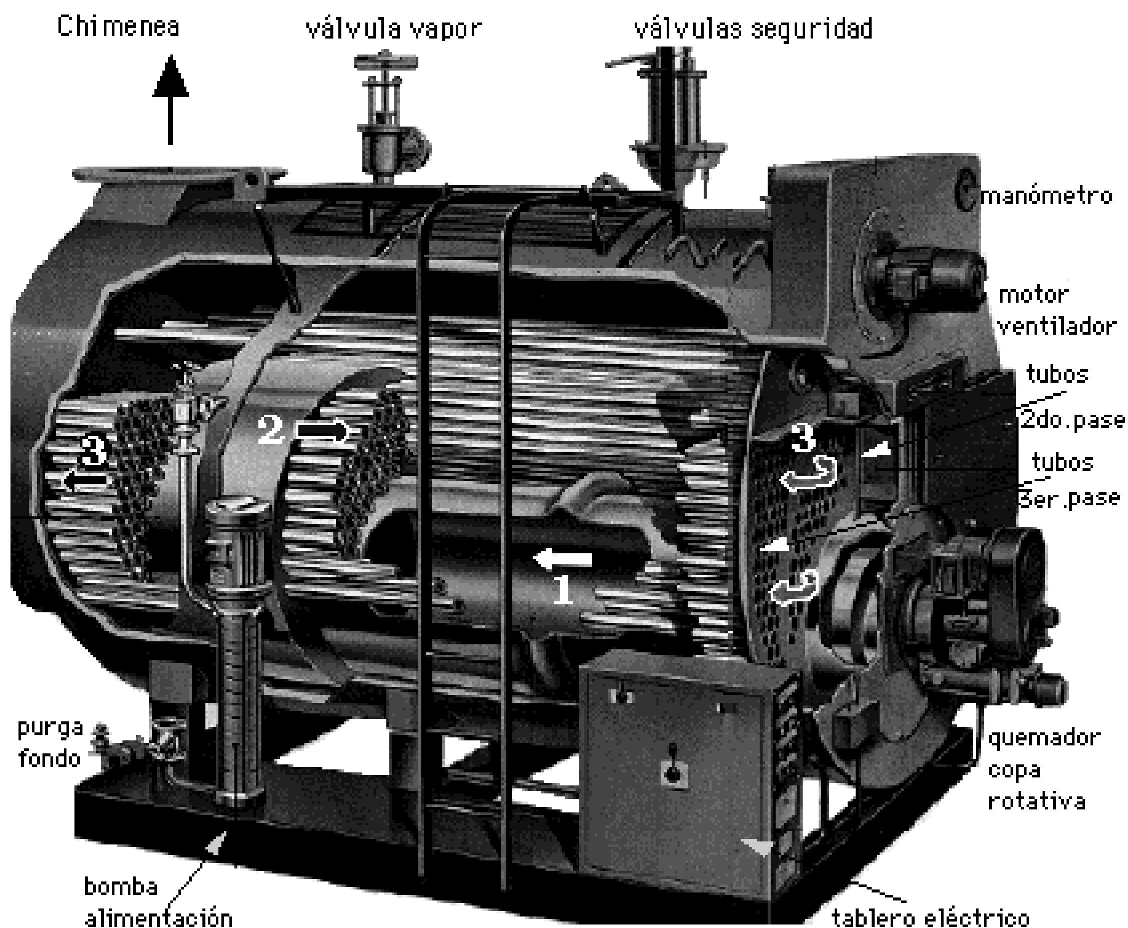
**Calor aportado = Calor Total del vapor - Calor del agua condensada**.

(Esta última, el condensado, por lo general se encuentra normalmente a una temperatura de más de 100ºC por ser su presión mayor que la atmosférica (se dice que es agua sobrecalentada)-ver tabla- y que una vez a la presión atmosférica transforma parte de su calor formando el vapor de "flash" o sea, se provoca una re-evaporación para lograr el equilibrio entre la temperatura y la presión correspondiente a vapor saturado (presión atmosférica al estar el tanque de alimentación o condensado conectado a la atmósfera).




**El ciclo del agua y el vapor transportando calor** P =Kgr/cm2 (Rel.)

Vemos que en el ciclo que cumple el agua y vapor, sus temperaturas y presiones estarán relacionadas mientras ambos estén en contacto directo (vapor saturado seco o húmedo). Solamente se verá alterada esta relación si calentamos el vapor sólo o producimos una disminución de la presión por aumento del volumen ocupado por el vapor sin entrega de calor (como en el caso de bajar la presión con una válvula reguladora de presión). Normalmente encontraremos el vapor con humedad, pero a los efectos prácticos lo podemos considerar un vapor saturado seco . (El **título** del vapor depende de las condiciones químicas y físicas en la caldera: el régimen de fuego, aperturas bruscas de consumos, PH, T.S.D. , contaminantes, etc.).




**CALDERA HUMO TUBULAR DE 3 PASES**

## 2- El agua y el vapor (parte 2)

### El agua

Hemos visto que el agua está compuesta por una molécula formada por 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno . Esta agua puede encontrarse en forma sólida (hielo), líquida (agua) o gaseosa (vapor). En nuestro caso trataremos el agua en forma de líquido y vapor.

**Agua pura : H2O**

Transparente, inodora, incolora
sin sabor, aislante, solvente universal
calor especifico 1 Kcal / Kgr

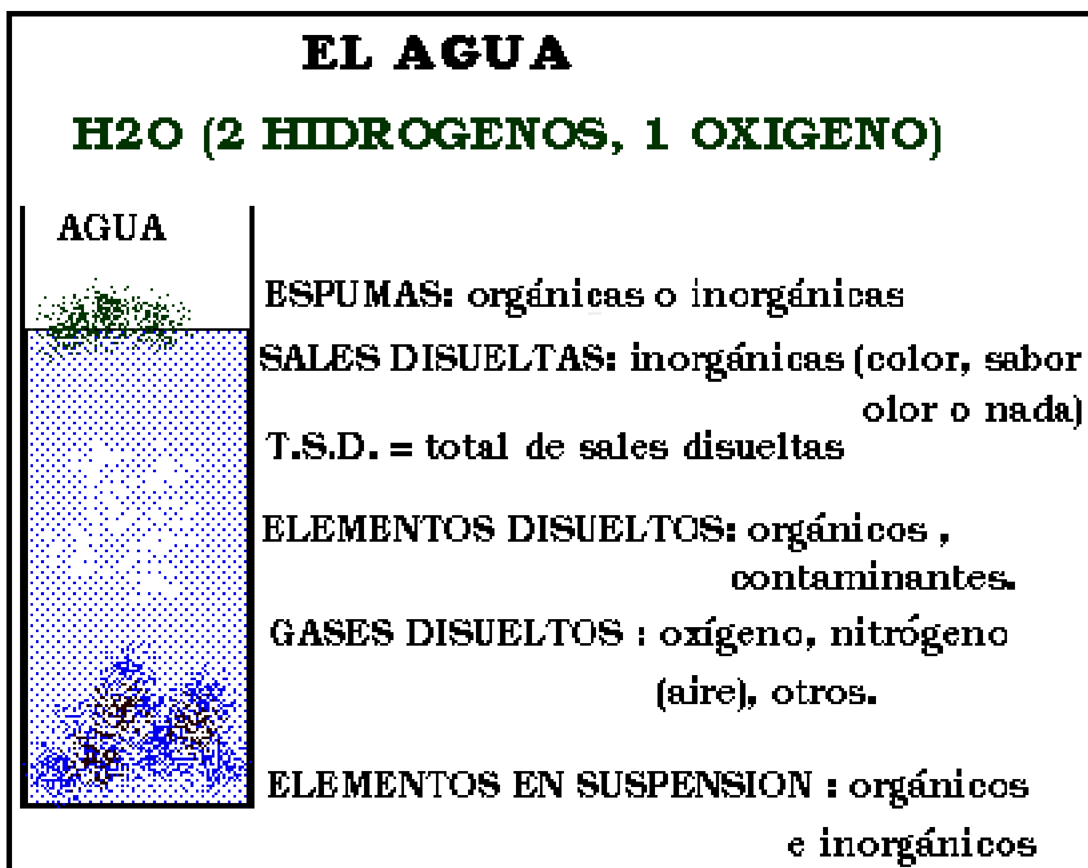
El agua pura no existe libre, hay que producirla por medios artificiales: desmineralización, varias destilaciones o a partir del oxígeno puro y el hidrógeno (se produce mucho calor)

El agua "dulce" o de utilización humana casi "directa" proviene de las lluvias, ríos, lagunas o pozos ( pudiendo haber aguas destiladas o purificadas del mar).

El agua es casi un solvente universal, trae con ella **materias** que vienen en 3 formas diferentes : **1- disueltas** que no se ven o se ven (por el color), le dan o no sabor (gusto), o le dan o no olor (aromas), (Ejemplo : como la sal de comer -cloruro de sodio- que la da sabor solamente). A estas sales las llamaremos **Sales Disueltas** (**T.S.D.**) porque sus moléculas se "mezclan" con las del agua. Estas sales se miden de distintas formas para saber su cantidad e identificarlas. **2- Sólidos en suspensión**, son materiales que no llegan disolverse totalmente en el agua, sus moléculas permanecen unidas formando pequeños cuerpos (ó soles), que en general se pueden ver, que afectan en muchos casos el color, el olor y el sabor del agua (dentro de estos sólidos estarán en general los microorganismos que viven o contaminan dichas aguas). **3-Gases disueltos**, estos están al igual que las sales disueltas integrados con las moléculas de agua, pero en general su **condición es muy inestable**, ya que **dependen** en gran forma de la **temperatura del agua** y de la **presión parcial** de dicho gas en la superficie de la misma (pueden dar sabor, olor y color o nada ).

Las aguas para la utilización humana deben de ser purificadas, tanto de los **microorganismos** (que provocan las enfermedades), como de aquellos **elementos que provocan sabor, olor y color** ( generalmente todos están integrando los sólidos en suspensión ). Aquellas aguas que contienen **sales disueltas en exceso o que sean nocivas para la salud humana** (tóxicas: nitritos, cromatos, pesticidas, etc.), también deberán ser tratadas para disminuir o eliminar totalmente dichas sales.

De acuerdo a lo dicho, podemos decir:




**Aguas de lluvias**: muy pocas sales disueltas, **muchos gases** (aire, anhídrido carbónico, etc.), algunas suspensiones (polvos de la atmósfera y sus microorganismos).

**Aguas superficiales:** (ríos y lagunas): relativamente pocas sales disueltas, **bastante gases y materiales en suspensión .** (crecimientos biológicos: microorganismos y productos de la agricultura).

**Aguas de pozos :** Generalmente **ricas en sales disueltas**, pocos gases y bajos contenidos de sólidos en suspensión (casi nulo, salvo arena de arrastre).

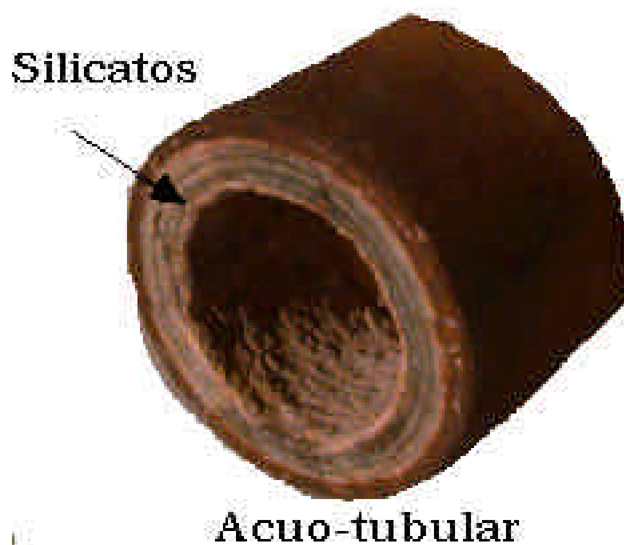
Para el uso humano se debe tener en cuenta la **pureza bacteriológica** en forma fundamental, los límites químicos, ser limpia , sin olores ni sabores (siendo el nitrito unos de los elementos nocivos a la salud humana, especialmente a los niños pequeños) .

**El agua para las calderas debe cumplir con la parte química en forma fundamental**. Veamos el porqué:

El agua en el interior de la caldera, debido a sus **condiciones de suministro y transformaciones provocadas por el aumento de temperatura o por el aumento de concentración de sus sales disueltas o sólidos en suspensión** (debido a la evaporación en el interior de la caldera, que deja las sales y sólidos en el agua de la caldera y sale el vapor casi "puro"), produce los siguientes problemas:

**1- Incrustaciones** (esto significa la formación de una capa de material "químico" que se adhiere a la pared de las superficies de calefacción, provocando dificultades en la transmisión del calor desde el "fuego" al agua, calentándose el metal en exceso debido a que el agua no lo "refrigera" lo suficiente - permitiendo que se "queme" el metal). Generalmente estas incrustaciones están formadas por **sales de calcio y magnesio** (dos elementos químicos muy comunes en el agua - forma lo que llamaremos "**la dureza**" **del agua** - comúnmente vienen en el agua como sales disueltas en forma de Bicarbonatos de Calcio y de Magnesio -**muy solubles**-, descomponiéndose en el interior de la caldera en sales poco solubles: Carbonatos de Calcio y Magnesio-**muy insolubles**- o sus Hidróxidos -algo solubles- . El Carbonato de Calcio es el mármol-pudiendo contener Carbonato de Magnesio, así forma la Dolomita. La "cal de blanquear" es el Hidróxido de Calcio , es algo soluble). Los Bicarbonatos de Magnesio por el calor y las condiciones químicas del agua, tienden más a formar el Hidróxido de Magnesio, elemento más incrustante como "barros" que como incrustación directa, al aumentar su concentración. Pueden venir **otras sales de calcio y magnesio** -de solubilidad variable-(generalmente sulfatos y a veces cloruros. Los sulfatos muchas veces derivan del propio tratamiento del agua en las plantas de potabilización: al utilizarse el Sulfato de Alúmina como elemento clarificador, éste reacciona con la alcalinidad natural del agua : bicarbonatos de calcio y magnesio). Estas incrustaciones de sulfatos son extremadamente duras y difíciles de sacar. Las incrustaciones de sulfatos son provocadas al aumentar su concentración en el interior de la caldera y debido a que con el aumento de la temperatura tiende a "precipitar" o sea a formarse un cristal que se deposita en la superficie más caliente.

La **sílice** ( **SiO2**, o silicatos, compuestos que vienen en el agua en forma de sales o como un elemento en suspensión coloidal), tiende a formar incrustaciones muy duras al acumularse en el agua de caldera. Las incrustaciones de sílice son como de " vidrio o arena", muy duras y muy difíciles de extraer mecánicamente y químicamente, sumamente aislantes, no dejando pasar el calor al agua, aún en pequeños espesores.




Otras veces las propias **incrustaciones las "fabrican" los tratamientos químicos** internos mal hechos (generalmente por el uso inadecuado de los fosfatos, polímeros y las purgas , siendo estas incrustaciones difíciles de sacar).




**TUBO DE CALDERA ACUO-TUBULAR INCRUSTADO**

**2-Barros** ( Definiremos como barros aquellas sales que una vez que "precipitan" tienden a "aglomerarse" formando sólidos en suspensión que unidos en forma de barros tienden a depositarse en las superficies de calefacción o "fondos", de los cuales no pueden ser extraídos por las purgas de fondo). Estos barros están formados por **sales** (del tipo de las anteriores) y **sólidos en suspensión** que puedan venir con las aguas de reposición o condensados (y del propio tratamiento inadecuado).

La circulación interna del agua de caldera, juega un papel fundamental en la forma de que se pueden depositar estos barros y producir bloqueos al enfriamiento del metal de la caldera. En caldera humo-tubulares sin hogar cilíndrico (como algunas calderas de recuperación o calderas a leña de quema directa), la circulación interna entre los tubos es ascendente y no se produce un verdadero "lavado" de los tubos ("wash out"), lo que permite que los barros se depositen sobre los tubos. Esto no ocurre cuando hay tubo de hogar cilíndrico (que actúa como una bomba de circulación, lavando los tubos). La otra son las parte acuo-tubulares de las calderas (especialmente en capillas de combustión y de retorno de gases, que la circulación de los barros (que tienden a bajar) son "empujados" por la circulación del agua que tiende a subirlos (lo que hace penetrar los barros en los tubos y permitir su extracción por las purgas, estos tubos por lo general son ascendentes con pequeña inclinación (especialmente en parrillas refrigeras o calderas "seccionales" antiguas). El lavado periódico

de la caldera es fundamental, o sea un manguereado semestral o por lo menos anual, desde la parte superior a la inferior con gran flujo de agua.




**3- Corrosión :** (llamaremos corrosión al ataque de los metales de la caldera o sistema -línea de vapor y condensado, incluyendo equipos-, provocando "picaduras": perforaciones; corrosiones "generalizadas": ataque de toda una zona con pérdida del metal, etc.).El oxígeno que viene con el agua es el principal causante y acelerador de los procesos de corrosión en general. Tenemos corrosiones del tipo exclusivamente químico, pero generalmente están asociadas a fenómenos electro-químicos (a diferencias de temperaturas, metales diferentes, tensiones, PH, sales disueltas, oxígeno, etc).

Se debe considerar, que muchas veces las corrosiones son provocadas por los productos de proceso de la misma planta, o que se utilizan para el tratamiento de purificación del agua potable de la planta, como es el caso del cloro (que generalmente se utiliza como hipoclorito de sodio para la desinfección de las aguas). El cloro es muy corrosivo, a diferencia con el oxígeno, el cloro puede atacar la caldera en cualquier zona (tanto cuando la caldera funciona o está parada) eliminar el cloro es fundamental en el

agua de reposición (aunque se puede eliminar químicamente con sulfitos, es mejor evitar que el agua que se use se le haya "quitado" el cloro por medio de filtros de carbón activado. Generalmente el ataque por oxígeno ocurre en las calderas cuando las mismas están parada (se manifiestan por "pitting" o sea una pequeña perforación), por lo general en los tubos vaporizadores. Aunque como vemos más abajo, en el sistema de entrada de agua a la caldera, al desprenderse el oxígeno con el calor y formar zona con diferentes concentración de oxígeno se producen importantes corrosiones (esta se llama "corrosión por oxígeno diferencial").




Desde la preparación del agua que se toma de un río (pozo, red de distribución,etc) se debe tratar según sea necesario, ya que el problema del agua es todo el "ciclo" hasta su retorno como "condensado" de vapor cuando retorna al tanque de alimentación.

AGUA DESEABLE PARA CALDERAS

AGUA

ESPUMAS: sin espumas
CLARIFICAR Y FILTRAR

ELEMENTOS EN SUSPENSION : sin elementos en suspensión
CLARIFICAR Y FILTRAR

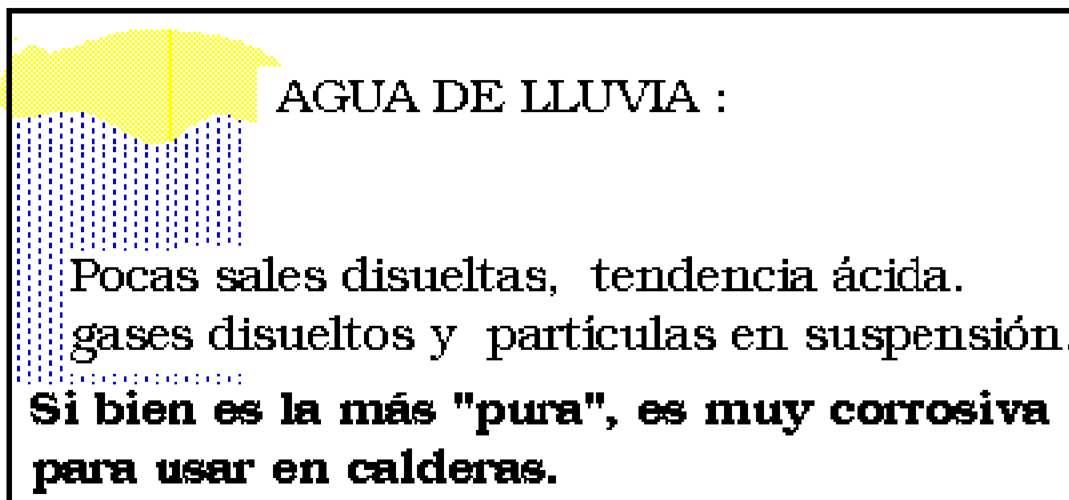
SALES DISUELTAS: con el mínimo de sales disueltas especialmente sin Ca y Mg
ABLANDAR
DESMINERALIZAR

GASES DISUELTOS : sin gases , especialmente sin oxígeno.
CALENTAR

Agua para alimentación de caldera: clarificada, filtrada, ablandada o desmineralizada, desgasificada o desareada, con un tratamiento químico para un PH no corrosivo y un elemento secuestrante del oxígeno residual, calentada (evita choques térmicos).

EL AGUA PURA ES CORROSIVA

**Formas de preparación de las distintas aguas para su utilización**:
La preparación del agua para su utilización depende del **tipo de caldera**, **presión de trabajo** y **calidad del vapor** necesaria. Dado lo extenso del tema, trataremos el caso de las calderas de baja presión en general.




**Agua de lluvia:**

Se utiliza poco, esta agua tiene la ventaja de no tener casi sales (muy pocas), pero el **alto contenido de oxígeno y anhídrido carbónico** del aire las hace muy corrosivas (en otros casos las sales que trae el agua al formar una "capa " o escudo protector de la corrosión, en este caso no se forma, hace necesario su tratamiento. Para saber si las aguas tienen tendencia corrosivas o incrustantes se hace un análisis y se utilizan tablas: Indice de Langelier, Indice de Ryznar, Indice de Puckorius). En el tratamiento para su utilización en una caldera es fundamental eliminar estos gases ($O_2$ y $CO_2$). Para ello podemos en primera instancia eliminarlo **calentando bien el agua de alimentación** (o utilizando un des-areador térmico-mecánico). **La solubilidad de los gases en el agua es inversamente proporcional a la temperatura**, es decir, a mayor temperatura menos gases puede disolver el agua (esto lo vemos al destapar una bebida gaseosa caliente y una fría, la caliente tiende derramarse al escapar el gas rápidamente). Luego el residual de oxígeno debe de ser eliminado químicamente (por medio de sulfitos, hidrazina, etc. - debemos de tener mucho cuidado con el uso de la hidrazina debido a que se le considera una sustancia "peligrosa" para la salud).

El uso de algunas de estas sales químicas aumenta las sales en el interior de la caldera, por lo que el régimen de purgas debe ser aumentado (sulfitos).

Hoy en día el agua de lluvia por lo general está contaminado por la polución ambiental, desde las propios gases de chimenea, pero fundamentalmente por la gran cantidad de gases producto de la combustión de los motores de explosión, sean diesel o nafta, ambos producen sustancias corrosivas. Pero especialmente los gases de los que queman Fuel Oíl pesado (contienen gran cantidad de azufre).

AGUA DE RIO :



Relativamente pocas sales, muchos gases.
turbidéz, sabor, olor, materia orgánica,
contaminada, etc.

Clarificada, filtrada, ablandada, destilada o desmineralizada, es el agua de mejor resultado en las calderas.

**Agua de río:**

El agua de río es la más común en el uso de las calderas, ya que es el agua que normalmente suministra el Estado (potabilizada por OSE).

Estas aguas varían de acuerdo a las épocas del año (evaporación) y las lluvias, teniendo gran contenido de gases (aire, anhídrido carbónico, amoníaco, etc.) por ser de superficie. En el contenido de sales son variables, pero generalmente son en menor cantidad que las aguas de pozo ( por eso es preferible el agua de superficie que la de pozo para uso en calderas, requiere menos tratamiento químico, menos cantidad de purgas, etc.).El agua "cruda" del río debe ser tratada (veamos el esquema anterior): Tomada del río se le adiciona un producto para **eliminar las sustancias en suspensión** (generalmente sulfato de alúmina, que reacciona con la alcalinidad natural del agua: bicarbonatos de calcio y magnesio normalmente) en **un mezclador**. Esto hace "**coagular**" (neutralizar las cargas eléctricas que mantienen separadas las sustancias en suspensión) y "**flocular**" (unir las partículas en una pequeña esfera que tiende a decantar en el fondo de un recipiente) las partículas (junto con los microorganismos) para que se depositen en un sistema "**decantador**" (formando barros). De allí **se filtra** (sacando materiales en suspensión que no han decantado) y sale también tratada con un "**desinfectante**" (generalmente Hipoclorito de sodio) para eliminar los microorganismos restantes. Se **regula el PH** para evitar la corrosión en las líneas de suministro (se agrega ceniza de soda o hidróxido de calcio : cal apagada o cal "viva", esto repone su alcalinidad que fue consumida por el sulfato de alúmina).

Como vemos a estas aguas solamente se les ha sacado los materiales en suspensión, olores, sabores y microorganismos, se ha aumentado el contenido de sales disueltas y se mantienen los gases disueltos (oxígeno, anhídrido carbónico, etc). **Para su utilización en calderas** debemos **eliminar las sales incrustantes** (las que contienen calcio y magnesio) **o todas las sales** (caso de calderas de media y alta presión) y los **gases corrosivos.**

**Podemos eliminar las sales de calcio y magnesio que forman la dureza del agua** (o todas las sales) **antes de utilizar el agua** en la caldera **o en el interior de la caldera transformándolas en "barros"** que sacaremos por las purgas. El método más común (en baja presión) es el de eliminar la "dureza" antes de utilizar el agua, es el de usar un "intercambiador iónico " ("**ablandador de agua**", "suavizador", etc.). Este se encarga de cambiar (intercambiar) los iones de calcio y magnesio por iones de sodio (pequeñas esferitas cargadas de sodio toman el ion calcio y magnesio y entregan un ion de sodio al pasar el agua entre ellas . Una vez que estas han agotado su sodio, deben ser regeneradas con cloruro de sodio -sal común-). En el caso de utilizar un intercambiador iónico del tipo sódico (ablandador) vemos que la cantidad total de sales sigue siendo la misma debido a que una ha sido desplazada por otra. Esta agua **no incrusta** pero es **muy corrosiva**, debido a que no habrá ninguna sal que forme una capa de "protección" contra la pared del metal (incrustación, capa de óxido estable). Podemos decir que el ablandador de agua es un abaratador del tratamiento y mantiene la caldera libre de barros. Es el primer paso del tratamiento para el agua de caldera (veremos otros), por lo general el segundo es el tratamiento químico interno.

Antiguamente se eliminaban buena parte de las sales por medio de **la precipitación química** (reaccionando las sales con otras sales que se introducen y reaccionan formando sales que precipitan, dejando de estar disueltas en el agua, de manera que pueden ser decantadas y el agua filtrada, lográndose que la mayor parte de las sales se eliminan). Este método es costoso y necesita un control químico permanente.

**Podemos eliminar casi totalmente todas las sales que contiene el agua** (tanto los **radicales ácidos** como los bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros o los **radicales los alcalinos**, como los de calcio, magnesio, sodio u otros, **utilizando para ello el intercambio iónico** (con resinas que intercambian estos radicales por **H**-hidrógeno- y **OH**-oxhidrilos, que se regeneran las primeras con ácidos y las segundas con soda), ambos forman **$H_2O$ en el lugar de las sales** : agua. Esta agua se llama **agua desmineralizada**. Esta agua tiene un costo para su preparación muy importante, se utiliza fundamentalmente en calderas con alta y media presión. Es un agua de por sí corrosiva (por la razón antes dicha en el caso del agua blanda). También se puede lograr esta calidad de agua por medio de la **destilación** (o sea, evaporando el agua y volviéndola a condensar, dejando las sales concentradas en una solución que se purga; antiguamente era la única forma de lograr un agua sin sales (luego de varias evaporaciones sucesivas para lograr una pureza elevada). **Esta agua sin sales, se llama agua destilada** (o de acuerdo al número de destilaciones en: bidestilada, etc)**.**

**Actualmente, también se logra un agua casi "pura"** (en que se eliminan casi todas las sales) **por medio de una filtración con una membrana** (filtro de celulosa o poliamida) **que solo deja pasar el agua** (ósmosis inversa, provocada por agua a relativa alta presión, en la cual pasa agua casi pura en un determinado %, habiendo un % que se tira para mantener una concentración máxima del lado del agua con sales), que se puede depurar más volviendo a efectuar nuevamente en otro cuerpo filtrante el agua obtenida y **que luego se puede depurar más por medio del intercambio iónico en un lecho mixto de resinas** (desmineralizador con las resinas mezcladas, que se separan para su regeneración).

En el **tratamiento interno**, **el ablandamiento** (eliminación del calcio y el magnesio) se hace **exclusivamente con productos químicos** (que generalmente forman barros como los fosfatos, polímeros, etc. o sales no formadoras de barros como el EDTA, etc..). Vemos que **las purgas** juegan un papel fundamental para poder **sacar los barros** correctamente (se observa que las sales disueltas disminuyen aún agregando productos químicos -por precipitación- pero debido a la cantidad de barros se hace necesario mantener las aguas "claras"con la purga de fondo). **La purga continua** saca las sales disueltas que se van acumulando al salir el vapor (agua pura) y quedar las sales.

Los gases deben ser tratados igual que en el caso del agua de lluvia.

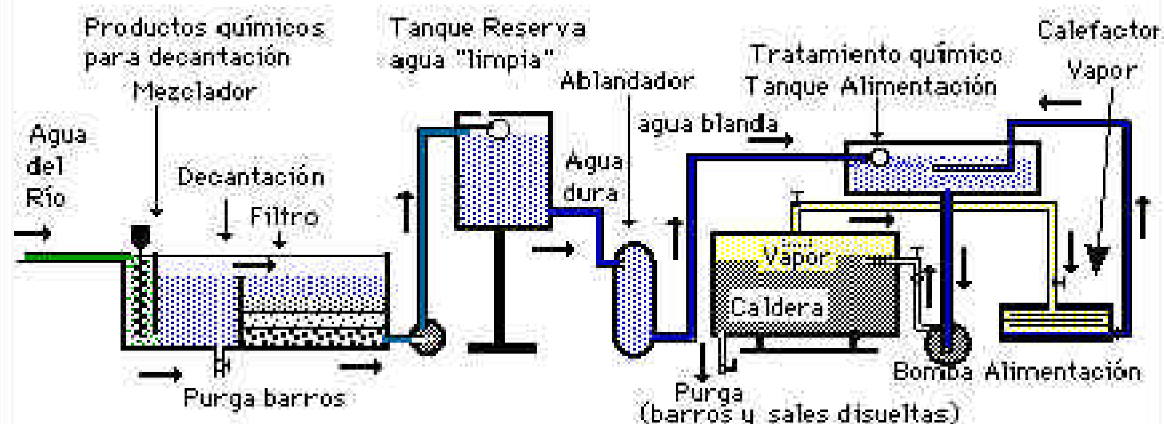
PREPARACION DEL AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERAS

Agua turbia → clarificada → filtrada → ablandada → calentada + trat.químico

turbia → clara → sin calcio y magnesio → sin oxígeno

PH y Oxígeno

Dureza residual y lodos




Ciclo del agua en un circuito de caldera–Desde el río a la purga

CLARIFICACION: SULFATO DE ALUMINIO, POLIMEROS, HIPOCLORITO....

FILTRADO: FILTROS DE ARENA, DE GRAVEDAD, DE PRESION, Etc.

ABLANDAMIENTO: INTERCAMBO IONICO, OSMOSIS INVERSA, Etc.

DES-AREADO: CALENTAMIENTO Y VACIO.

PRODUCTOS QUIMICOS: SECUESTRANTE DE OXIGENO, DUREZA RESIDUAL, PH, ACONDICIONADOR DE LODOS.

**Aunque usemos agua pura, debemos hacer un tratamiento químico interno, de lo contrario tendremos problemas de corrosión, ya que el agua pura es corrosiva** (tiende a disolver el hierro que compone la caldera).

**Nunca debemos olvidarnos de la Sílice** ($SiO2$, no en forma de arena, sino la que viene en forma de sal soluble o en forma coloidal, es eliminable en algunos de los tratamientos anteriores, no en el ablandamiento por ciclo sódico)**, en el agua de caldera puede llegar a formar incrustaciones muy duras y aislantes** (casi imposible de eliminar una vez establecidas) **, o puede ser arrastrada en el vapor, provocando en las calderas de media y alta presión problemas muy graves de depósitos en las turbinas** (incrustaciones muy duras en los álabes de las turbinas de vapor, provocando bajo

rendimiento, vibraciones graves, etc) **o en los sobrecalentadores de vapor** (provocando incrustaciones que aislan el tubo del vapor, quemándose el tubo). **Cuanto más alta la presión de trabajo, más fácil es el arrastre de la sílice** (ya que tiende a vaporizar junto con el vapor de agua ).



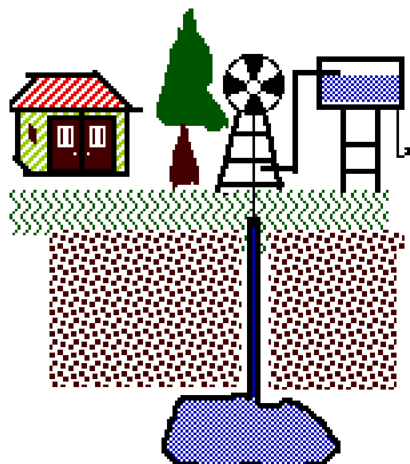

**Aguas de pozos:**

Estas aguas generalmente contienen pocos gases (no siempre), pero sí muchísimas sales -"dureza"-(generalmente libres de elementos en suspensión, a veces arena). Son muy tentadoras para su uso en calderas, ya que parecen ser "gratis" y no necesitan un tratamiento como el agua del río para su potabilización. Pero su uso es generalmente inconveniente por el **costo del tratamiento químico**, debido al alto contenido de sales, que obliga a purgas muy elevadas, a grandes consumos de productos químicos y muchas veces a problemas en la **calidad del vapor (se provocan arrastres y CO2, elemento muy corrosivo en el condensado)**.

Podemos decir que las aguas de los pozos, responden a las zonas y profundidades de los mismos. Por lo general en el Uruguay los pozos más al Sur y al Este, son de alta salinidad (Dureza Temporaria y Permanente), sin embargo los pozos hacia el Norte y al Oeste, tienen menos salinidad (menor Dureza Permanente y sales en general).

La alta alcalinidad total (bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio), responsable de la Dureza Temporaria, ya que su composición se altera al entrar en la caldera por el calor, desdoblando los bicarbonatos que son solubles en carbonatos insolubles (el calcio y el magnesio), y a su vez los carbonatos que son solubles total o parcialmente en su hidróxido correspondiente, soluble el de sodio, no tan así los de calcio y magnesio, siendo estos últimos preferentemente transformados en incrustaciones y barros, hacen que estas aguas en general produzcan rápida incrustación en los tubos de las calderas **si no se tratan adecuadamente.**

AGUA DE POZOS



Muchas sales disueltas, clara, a veces gases , sin olor o color.

Agua muy mala para las calderas, exceso de dureza y sales ( generalmente )

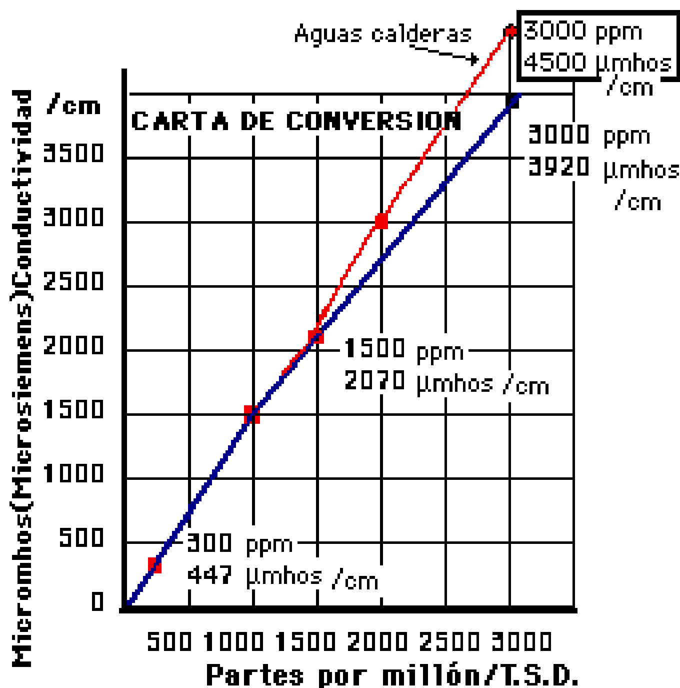
Más sal para ablandar, más purgas para mantener los límites ( perdemos calor y agua tratada), más tratamiento químico.

Vapor con más contaminaciones.

El contenido de sílice (SiO2) en forma de sales o coloidal, en agua de pozos, es uno de los problemas al utilizar el agua de pozo, ya que ha medida que se utilizan calderas de mayor presión de vapor, el arrastre de sílice puede afectar el uso de turbinas de vapor sobrecalentado (produciendo en las turbinas incrustaciones de sílice que les baja el rendimiento y pueden provocar desequilibrios que pueden afectar mecánicamente a la turbina por vibraciones, siendo esta sílice depositada muy difícil de quitar de los álabes).

Pero aún en calderas de baja presión, el límite máximo de sílice en el agua de caldera debe ser respetado, ya que una caldera que se incruste con sales silíceas (que son muy duras y aislantes, pueden llevar a la "quema de la caldera" por falta de transferencia o sea enfriamiento), son muy difíciles de quitar, tanto en por medios mecánicos o químicos (hay calderas que ha sido preferible cambio de tubos que su limpieza).

GRAFICO INDICANDO LA RELACION ENTRE LA CONDUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO TOTAL DE SALES DISUELTAS (T.S.D.). DE UN AGUA NATURAL PROMEDIO Y CURVA TEORICA ADECUADA PARA AGUA DE CALDERA EN BAJA PRESION Y TORRES DE ENFRIAMIENTO.




**Problemas ocasionados por el tratamiento químicos del agua**:

Dentro de los problemas de un tratamiento, lo más importante es establecer los valores adecuados de los **parámetros que se analizan** (alcalinidades, Total de Sales Disueltas-T.S.D.-, PH , Fosfatos, Sulfitos, cloruros, etc.)., ya que **a iguales calderas, presiones y calidad de agua**, puede haber hasta **diferencias de comportamiento en la forma de utilizar el vapor**: Una planta que tiene consumos grandes y rápidos de vapor tiende a "arrastrar" con más facilidad el agua de caldera, por ello aquellos parámetros relacionado con el arrastre deben ser bajados ( Alcalinidades-hidróxido-PH- Total de Sólidos -disueltos y en suspensión-ciclos de concentración, etc.).

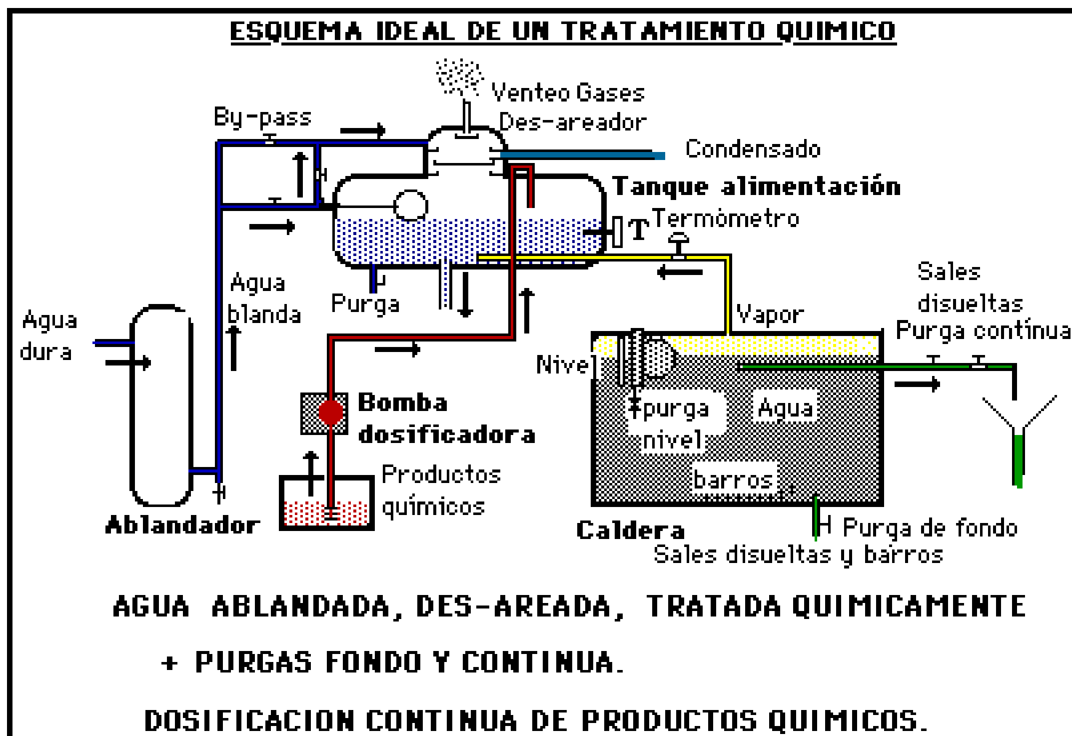
En muchos casos se agregan productos que son "buenos" para eliminar un problema, pero estos mismos productos pueden ocasionar graves perjuicios materiales o a la salud. (Un tratamiento de caldera lleva años para su correcta evaluación, por lo que hay que ser muy cauto en los cambios y con "los productos milagrosos").

**Como elemento fundamental, es aconsejable vaciar y abrir las calderas cada 6 meses, manguearlas con agua a presión y juzgar el estado en que se encuentran** (no hay mejor forma, los análisis químicos son de relativa seguridad)**.** Las purgas y la forma de hacerlas juegan un papel fundamental, ya que si no se hacen en cantidad correcta y en forma, por mejor que sean los productos a utilizar, la caldera o el proceso son afectados.Es importante saber disponer no solo qué productos químicos son necesarios, sino la forma en que serán utilizados, sus cantidades y la disposición de los equipos auxiliares al tratamiento (ablandador de agua, dosificadores, etc.).




Las incrustaciones en las calderas humo-tubulares solo son "limpiables" por medios químicos (limpieza química, con ácidos inhibidos, habiendo que hacer un proceso que por lo general se divide en tres parte, un hervido alcalino de preparación con cierta presión, una etapa con ácido inhibido (para evitar el ataque de hierro) a cierta temperatura, y luego de una tercera etapa con un "hervido alcalino" para neutralizar y con elementos químicos para "pasivar" el material (restituir un capa protectora a la superficie atacada por el ácido). Toda esta operativa requiere un conocimiento de química y práctico muy importante, ya que se puede estropear la caldera o tener un accidente.

Las caldera acuo-tubulares, se limpian "químicamente", pero también se pueden limpiar por medios mecánicos (cepillos, turbinas hidráulicas, neumáticas o eléctricas), ya que se limpian los interiores d el tubos y se puede tener acceso. Pero por lo general las limpiezas químicas bien hechas son las aconsejables, luego hay que hacer un "barrido" de incrustaciones y barros de todo el interior de las caldera con un fuerte "manguereado" y extracción manual de incrustaciones caídas.




Un tratamiento ideal es aquel que evite la corrosión, que no forme incrustaciones ni barros, que no permita arrastres de agua de caldera en el vapor y que sea económicamente viable.

Si al agua le sacamos todas las sales (destilado o desmineralizado), sería lo ideal, pero el costo es muy alto y el control bastante difícil (se debe controlar la corrosión. Puede haber problemas con la sílice ($SiO2$) si no se saca adecuadamente, ya que se aumentan los ciclos de concentración, puede incrustar o haber arrastres).

**Un tratamiento químico se puede ver como un "costo", pero en realidad es una inversión, ya que una caldera que no se le haga un tratamiento químico adecuado, es una caldera que en cualquier momento tendrá un problema que no solo será el costo de la reparación de la caldera, sino el costo de la pérdida de producción.**

**Pero aún más, en general, las calderas con malos tratamientos químicos de sus aguas, son las calderas propensas a sufrir graves accidentes, desde la solo "pinchadura" de un tubo a la "explosión" de la envuelta u hogar de una caldera (ambos accidentes muy graves).**

**La mala calidad de los tratamientos, lleva a bloquear los controles de nivel, lo cual pueden producir la destrucción de la caldera por falta de refrigeración al bajar el nivel del agua y no apagar el quemador, por lo que el metal se destruye por calor (con alto riesgo de explosión).**




**Por lo cual, el ideal de tratamiento es ( en baja presión, no en el 100 x100 de los casos):**

1- **Eliminar** el **calcio** y el **magnesio** antes de entrar el agua a la caldera.

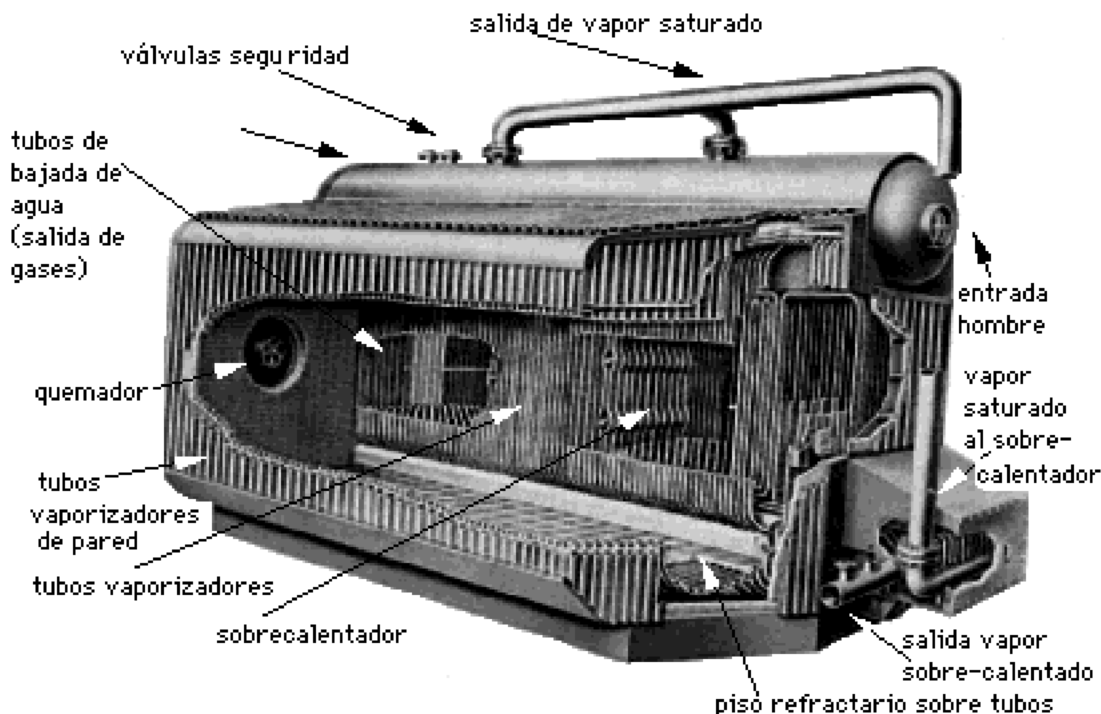
2- **Eliminar** los **gases** ( fundamentalmente oxígeno), cuando no se disponga de un des-areador, calentar el agua lo más próximo a 100ºC que se pueda (por ello el tanque de alimentación debe estar por encima -4 a 5 m.- de la bomba de alimentación para evitar la "cavitación" y poder disponer de una calefacción con vapor ).

3-**Un tratamiento interno** con dosificación continua, para eliminar el oxígeno "residual", para mantener un nivel de productos que elimine la dureza "residual", regular el PH ( PH bajo =corrosivo ácido, PH muy elevado= corrosivo por inestabilidad de la capa protectora de óxido y "arrastres" de agua en el vapor).

4- Un sistema de **análisis** para el **control** (turno, diario, semanal, etc., el ablandador cada turno = dureza), hecho en planta por el encargado de la caldera.

5-Un sistema de **purgas**, **fondo** y **continua** (incluyendo los **niveles cada 4 horas**), manteniendo los valores en sus límites máximos admisibles. (Es importante poder medir el caudal por minuto de la purga continua, disponiendo después del recuperador de calor -para la eliminación del vapor de"flash"- un lugar donde medir).

6-**Recuperar** el máximo de **condensado**, en general es agua pura (Se debe vigilar con análisis las posibles contaminaciones que pueda traer el condensado).



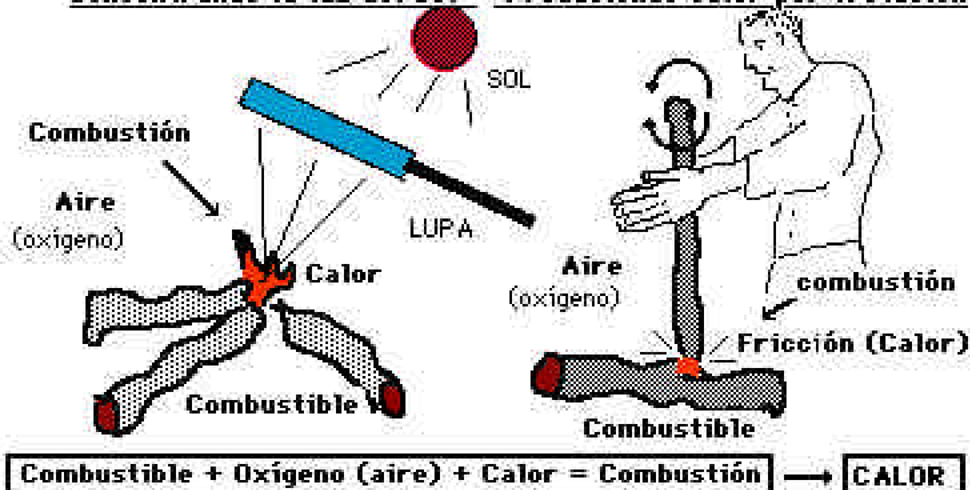

CALDERA ACUO-TUBULAR TIPO FM moderna

## 3-Los combustibles y su combustión :

Llamaremos combustibles a aquellos productos que emplearemos para "quemar" en las calderas para producir calor, como los **derivados del petróleo** : Fuel Oíl pesado, Fuel Oíl calefacción, Gas-Oíl, Super-gas, gas de cañería; los **derivados de vegetales** (celulósicos) como : la leña , las cáscaras (de arroz, de girasol, etc .) **los combustibles extraídos del subsuelo en forma de sólidos** como del tipo de carbón (antracita, lignitos, bituminosos, etc.) ó **gases** como: el gas natural, el gas producido en forma artificial (gasógenos de carbón, de leña, etc.) . Vemos que tenemos combustibles **sólidos, líquidos y gaseosos.**

**Los combustibles están formados por elementos que al unirse al oxígeno del aire (oxidación rápida o combustión) producen calor** y elementos que son indiferentes a este oxígeno (no reaccionan con el oxígeno, son inertes y se van con el gas caliente o quedan como cenizas).

Para que exista una combustión de un elemento se deben dar las **condiciones apropiadas** : que **exista un elemento combustible** , que **el oxígeno se encuentre con este** elemento y **que la unión química** (oxidación) **se pueda producir** (es decir: se necesita que haya un catalizador o condición que facilite esta unión, en el caso de las calderas **es el propio calor el que permite esta unión**, en otros casos podrá haber un un inductor de este comienzo de oxidación (chispa eléctrica, fricción, etc) o un metal u óxido de metal catalizador , etc., que luego mantiene el propio calor generado). También se necesita un **tiempo de combustión**, que varía de acuerdo a los combustibles y a las condiciones en que se produce dicha combustión.




Vemos que hay una relación de 3 elementos para que exista la combustión: 1- un **combustible**, 2- el **oxígeno** del aire y 3- que exista **calor** (para provocar la reacción). A estas condiciones tendremos que agregarle el **tiempo suficiente** para que se produzca esta combustión en un determinado espacio, y para mantenerla, la **suficiente temperatura** (si se enfría la misma se "apagará").

El lugar en que se produce la combustión se llama **hogar o cámara de combustión**, debiéndose completar la combustión en dicho espacio. De lo contrario veremos que que por alguna razón **faltó tiempo** o no se dieron las condiciones de producirse la **combustión total**, es decir que se ha producido una **combustión parcial** (hay elementos que saldrán por la chimenea sin "quemar", es decir, sin oxidar o parcialmente oxidados, esta pérdida puede llegar ser importante).

Los elementos que aportan calor en los combustibles son: el **Carbono(C),** el **hidrógeno (H)** y el **azufre (S)**.

El Carbono se puede unir a un oxígeno (**CO**, se llama **monóxido de carbono**) o a dos oxígenos ( **$CO^2$** , se llama **anhídrido carbónico** ). Relación entre átomos.

**El CO o monóxido de carbono** es un gas que no tiene color ni olor, es venenoso y **es indeseable que se produzca como resultado de la combustión**, ya que el calor que ha producido sólo es 1/3 de lo que es capaz de producir la misma cantidad de carbono. (2.200 Kcal. por Kg. de C). Este mismo **CO** o **monóxido de carbono,** también puede ser suministrado como combustible (gasógenos), quemándolo y obteniendo el calor restante de su oxidación total .

**El CO2 o anhídrido carbónico** es un gas que no tiene color ni olor, es el resultado deseado de la combustión del carbono que encontraremos en los gases de chimenea, ya que en esta condición ha entregado el máximo de calor (7.833 Kcal . por Kg. de C ).

El **anhídrido carbónico** se utiliza para el "gas" de las bebidas gaseosas, para "apagar" el fuego con los "bomberitos" o porrones (se encuentra en estado líquido al estar a presión en interior del porrón y al salir se transforma en un gas frío que desplaza el aire -oxígeno- apagando el fuego).

El anhídrido carbónico puede ser nocivo para la salud (aunque es un gas que expulsamos en nuestra respiración) ya que desplaza el aire del lugar en donde se encuentra, por ser más pesado que el aire. Esto debe ser muy tenido en cuenta cuando se limpian las cubas de vinos en la bodegas, las mismas suelen estar llenas de este gas y deben ser ventiladas antes de entrar ( **puede haber muerte por asfixia**).

**El hidrógeno** (**H**) unido al oxígeno (**O**) **produce agua** (**$H^2$ O**) (que saldrá por la chimenea en forma de vapor de agua) y **calor** (33.990 Kcal . por Kg. de H2 si consideramos que el agua formada se condensa a 0ºC). Como vemos produce gran cantidad de calor por Kg. de hidrógeno. Los sopletes que funcionan con hidrógeno producen altas temperaturas. Se utiliza como combustible para cohetes a reacción, es muy explosivo cuando se mezcla con el aire, etc..

**El azufre** (**S**) al unirse al oxígeno (**O**) produce **anhídrido sulfuroso** (**$SO^2$**), un gas con olor fuerte , venenoso y se produce calor (2165 Kcal . por Kg. de S). Este es un elemento indeseable en los combustibles, porque produce poco calor, y con la presencia de agua **se transforma en un ácido corrosivo: ácido sulfúrico** (el de las baterías de coche), que normalmente ataca el hierro de las chimeneas y de los recuperadores -calentadores de aire y economizadores-. (Su presencia es máxima en algunos tipos de carbones de piedra y en algunos Fuel Oíl pesados ).

**COMBUSTION**

CARBONO + OXIGENO = CO2 Anhídrido carbónico
C + O2 = CO2 + 8150 Kcal./Kg. **Comb. completa**

CARBONO + OXIGENO = CO Monóxido de carbono
C + O = CO + 2456 Kcal./kg. **Combustión incompleta**

**Pérdida por cada Kg. de C a mediio quemar 5600 Kcal./Kg.**
**esto es una pérdida de casi el 70%**

HIDROGENO + OXIGENO = H2O AGUA
2H2 + O2 = 2 H2O + 33.990 Kcal./Kg. (P.C.S.)
+ 28.630 Kcal./Kg. (P.C.I.)

AZUFRE + OXIGENO = SO2 ANHIDRIDO SULFUROSO
S + O2 = SO2 + 2.160 Kcal./kg

**Hay otros elementos en los combustibles que no producen la combustión**, que quedan en el hogar (cenizas: sílice, calcio, sodio, magnesio, etc) o salen por la chimenea en forma de cenizas, gases o

vapores- (oxígeno, nitrógeno, agua, etc.), absorbiendo parte del calor que hemos generado . En el caso del agua, este calor absorbido es muy importante, ya que el calor latente de vaporización del agua es muy grande. El agua que contiene la leña (humedad) provoca grandes pérdidas (por cada Kg. de agua ( **H2O**) se pierde Aprox. 600 Kcal/Kg.) y en aquellos combustibles que contienen hidrógeno (**H**) el agua formada de la combustión también absorbe calor. (Pero el **H** aporta mucho calor al oxidarse y por cada 1 Kg. de **H** forma 9 Kg. **H2O**).

**La relación del hidrógeno al carbono** ( **H/C,** los dos elementos que producen calor, no considerando al azufre que produce poco calor y es indeseable), **define entre los combustible líquidos** (fundamentalmente), **su mejor o peor reacción a la combustión, es decir, que si un F. Oíl tiene un mayor contenido de hidrógeno referente al carbono comparado con otro F. Oíl** (todos los otros combustible más livianos lo tienen: F. Oíl calefacción, Diesel Oíl, Gas Oíl, etc.) **será más fácil su combustión y menor el riesgo de formar hollín.** Esto parece lógico, debido a la alta producción de calor del hidrógeno y su alta velocidad de combustión, que mejora la combustión del carbono, que es de por sí más lenta su combustión (pero que a su vez el **carbono incandescente** produce un **efecto catalizador sobre la combustión**, haciendo que la misma se haga rápidamente, acortando el largo de la llama al aumentar su velocidad de combustión, problema que en los combustibles gaseosos de bajo contenido de carbono y por lo tanto de baja luminosidad, el largo de la llama será mayor).

De lo dicho anteriormente veremos que la **cantidad de calor que puede producir 1 Kg. de combustible** depende si consideramos que esa agua, que se encuentra en el combustible o que se forma en la combustión, se encuentre en forma de vapor (vapor que se va por la chimenea) o en forma de agua (enfriamos los gases de chimenea hasta 0ºC- esto es prácticamente imposible). Este calor por Kg. de combustible se llama **Poder calorífico** de los combustibles, siendo el **Poder Calorífico Superior (P.C.S.)** si consideramos el agua traída y formada a **0ºC** (Agua condensada y gases de combustión a **0ºC**) y **Poder Calorífico Inferior (P.C.I.)** si consideramos el calor que ha quedado después de evaporar toda el agua traída y formada (Agua evaporada, gases y vapor de combustión a **0ºC**).

**P.C.I = P.C.S. - Kg. agua x 600** (600 Kcal/Kg.valor práctico calor vaporización)

**El aire** que utilizamos para la combustión esta formado **por oxígeno** (21% en volumen) **y nitrógeno** (79% en volumen, un gas que no interviene en la combustión, pero que al calentarse nos llevará calor por la chimenea ) Y otros gases sin importancia numérica, que no intervienen en la combustión (argón, neón, helio,etc).

AIRE (Atmósfera)

**Oxigeno : O2 .........21% en volumen..23% en peso**
**Nitrogeno: N2.........79% en volumen..77% en peso**

**En el N2 consideramos otros gases que contienen el aire y que no intervienen en la combustión (aprox. 1%).**

Como la atmósfera terrestre al nivel del mar **mantiene** esta **relación de oxígeno y nitrógeno** (hay otros gases en muy pequeña cantidad) y como **cada combustible tiene determinadas cantidades de carbono, hidrógeno, azufre,** etc., **el resultado de la combustión** (gases de chimenea) **tiene una relación para cada combustible** . Esta relación es única para cada condición de la combustión . (véase los diagramas de OSTWALD más adelante).

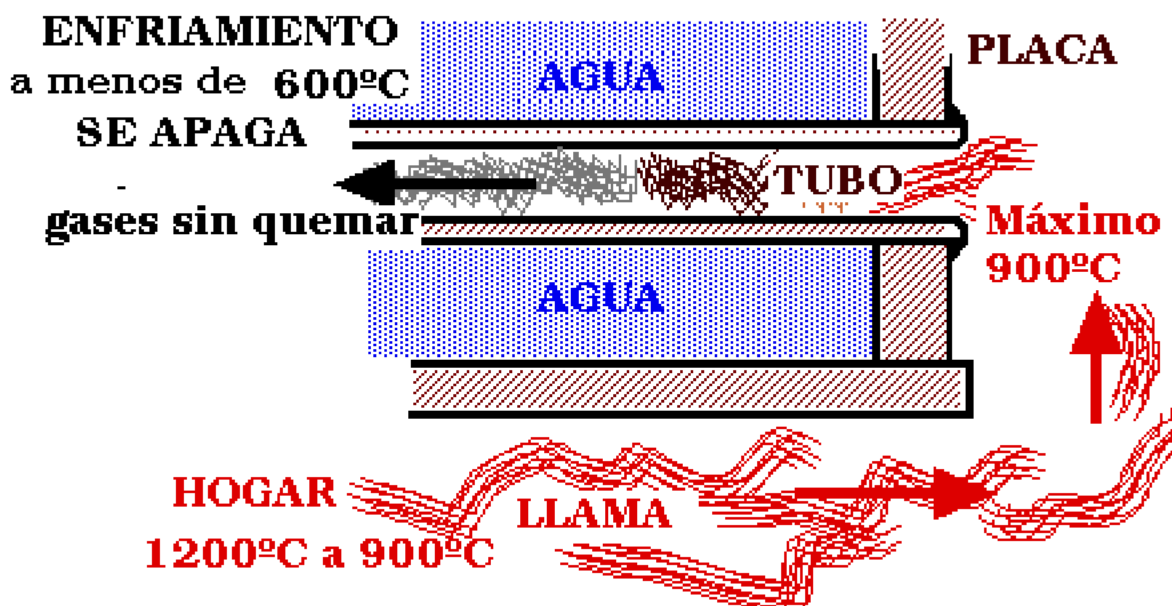
**Para lograr que la combustión sea completa**, debemos de hacer llegar cada partícula (molécula) de oxígeno (**O2**) que se se "toque" con cada partícula del combustible (molécula) y que haya la temperatura suficiente para que se produzca la combustión (oxidación, unión de los átomos oxígeno con los átomos de hidrógeno, carbono, azufre). Para lograr esto veremos que necesitaremos más aire que el necesario (**aire mínimo ó estequiométrico**) y este aire en exceso (llamado **exceso de aire**) es un mal necesario, ya que toda partícula de aire en exceso que calentemos saldrá por la chimenea llevándose calor innecesariamente.

Por lo tanto, debemos tratar que el combustible y el aire se mezclen lo más íntimamente posible, poniendo sólo aire en exceso para lograr que haya una **combustión completa** (que no quede combustible sin quemar), pero que este exceso no sea demasiado alto, ya que nos lleva calor por la chimenea.

## FALTA DE AIRE O MALA COMBUSTION

**COMBUSTIBLE + OXIGENO + CALOR + TIEMPO = CALOR**

**TODA LLAMA AL ENTRAR EN UN TUBO SE ENFRIA Y SE APAGA**




Dado que los gases de chimenea de acuerdo a cada combustible mantienen una única y determinada relación, es decir, si medimos la composición de esos gases de chimenea, **podremos saber el exceso de aire** que estamos utilizando .

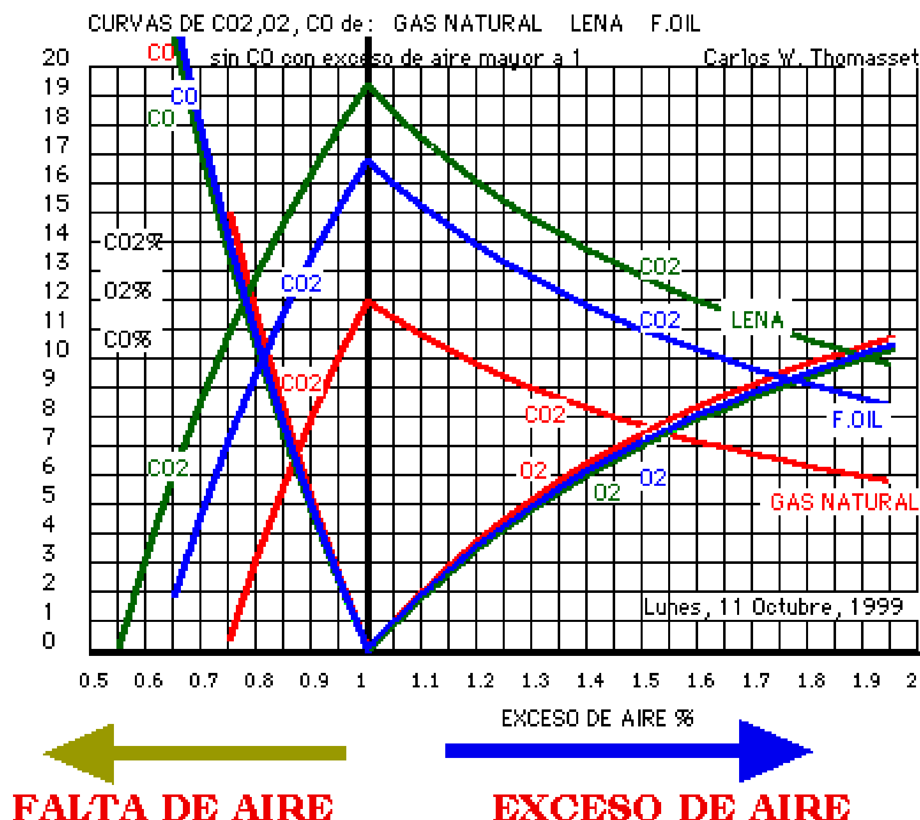
**Por ejemplo:** Si quemáramos F. Oíl y midiéramos el oxígeno en en los gases de chimenea, tendríamos 3 casos: 1- no hay oxígeno (falta exceso de aire): combustión incompleta (generalmente humos negros) o combustión completa (prácticamente imposible ya que sería el caso de aire estequiométrico), 2-**hay un % de oxígeno** y no hay monóxido de carbono (hay exceso de aire): puede haber una buena combustión o una mala (humos, hollín, por falta de mezcla o temperatura).3-Hay un % de oxígeno y hay monóxido de carbono: mala combustión (combustión incompleta, presencia en general de humos, hollín, etc..)




La presencia de humos en las chimeneas fueron siempre una "ayuda" para observar la calidad de combustión, **pero esto hoy en día es totalmente insuficiente, ya que la quema de gases y leña (biomasa) no muestra la presencia de humos en chimenea que pueden ser una guía para la combustión. El la quema de Fuel Oíl (pesado y liviano) es una buena guía (también en carbón).**

Los gases y la combustión de celulósicos, ha llevado a que el control de la combustión se deba hacer por instrumentos, tanto en el exceso de aire necesario como en la detección de gases "no quemados" (que son un desperdicio de energía y una fuente importante de contaminación ambiental).

Veremos que el color y forma de la llama, es una forma de determinar el resultado de la combustión, pero que varía de un combustible a otro, siendo el Fuel Oíl el más notorio.




**Siempre se necesita un exceso de aire para lograr una combustión completa (o casi completa), cuanto mayor sea este exceso de aire, mayor será pérdida por este concepto.**

**CADA COMBUSTIBLE Y TIPO DE QUEMADOR TIENE SU EXCESO DE AIRE MINIMO, DADO QUE POR DEBAJO APARECEN LOS GASES NO QUEMADOS O EL HOLLIN.**

**Hollín**: (carbono en forma de partículas de carbón, generalmente hay presencia de humos). En el **caso 2** (sin humos y con un exceso de oxígeno) podremos saber el exceso de aire sin necesidad de otros valores, ya que a cada exceso de oxígeno corresponde un exceso de aire, sabiendo la composición del combustible la medida será más precisa. Ver diagramas de OSTWALD más adelante. El problema es que algunos combustible no producen humos o forman hollín visibles (más bien el carbono mal quemado sale en forma de **CO- monóxido de carbono- u otros derivados orgánicos**) estos combustibles de difícil formación de hollín, son la leña y los gases naturales y gases derivados del petróleo o artificiales.





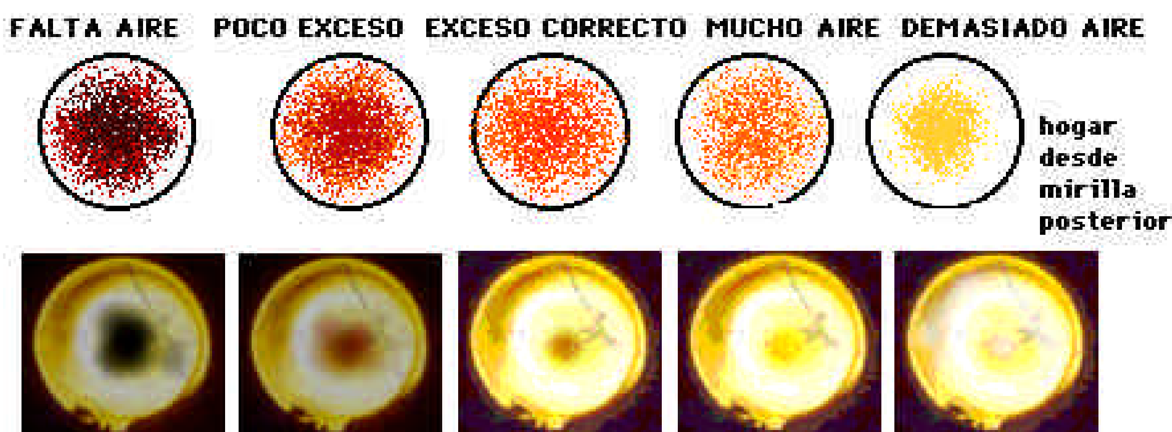


En Fuel Oíl y carbón, el control de humos, tanto visualmente como con instrumentos, nos muestra una serie de problemas de combustión, tanto de la falta de exceso aire (debe haber un poco más del aire mínimo necesario, dependiendo del tipo de combustible y del tipo de quemador), pero la presencia humos no solo responde a falta de aire, sino a otros problemas, como la atomización, la temperatura del combustible, del hogar, del grado de combustión, de fallas del quemador o del sistema de mezcla de aire y combustible, etc.

# CONTROL DE COMBUSTION EN F.OIL

## Observando:

COLOR DE LA LLAMA INDICA LA RELACION AIRE/COMBUSTIBLE




El color y la forma de la llama en la quema de Fuel Oíl, nos dá un claro indicio de lo que está pasando con la combustión, esto complementado con la observación de los humos, pero la medida de los gases de chimenea (CO2, O2 y CO) nos dan una mejor forma de diagnosticar lo que está pasando en la combustión.

El otro gas que podemos medir en chimenea y de acuerdo a su % sabremos el **exceso de aire** es el **anhídrido carbónico (CO2)**, si la cantidad de aire fuera la mínima necesaria (aire estequiométrico), habría un máximo de **CO2** (característico de cada combustible: del Fuel Oíl Pesado es aprox. el 16% en base seca, de los celulósicos el 20 %, en gas natural un 11,5%, etc.) . A medida que aumenta el exceso de aire disminuye el % de **CO2** en los gases debido a que los gases aumentan por el aumento de la cantidad de aire. (no significa que se produzca menos CO2 , si no que el mismo se **diluye**). Si determinamos el % de exceso de aire en base al % de el **CO2** solamente, para que el resultado sea correcto no debe haber presencia de monóxido de carbono. **Cuando medimos el % de monóxido de carbono (CO) y medimos el % de oxígeno (O2) y anhídrido carbónico (CO2), podremos relacionar a las 3 medidas y saber el exceso de aire sin necesidad de saber la composición del combustible.** (Caso del ORSAT).

Es muy importante la medida en los gases de chimenea, ya que la misma nos dará el resultado de la calidad de combustión y del exceso de aire, ambos elementos son pérdidas de energía que debemos limitar en la caldera.

**La medición en %** de los gases de chimenea podrá ser referido a **base seca** (o sea condensando la humedad de los gases de chimenea-la medida más común) o **base húmeda** (o sea teniendo en cuenta la humedad de los gases de chimenea).

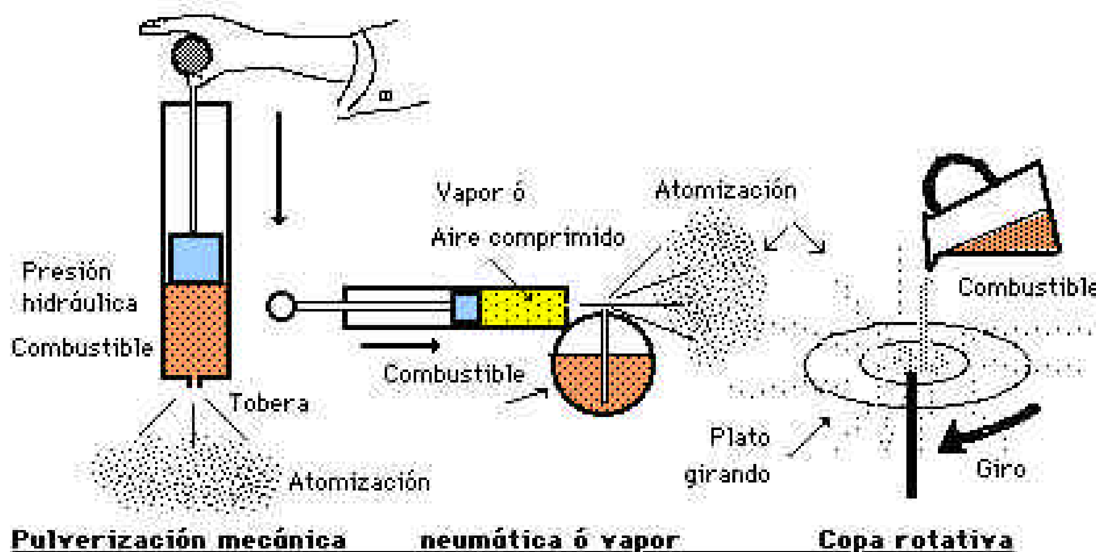
La medida más fácil de hacer es la del anhídrido carbónico (**$CO_2$**), como por ejemplo: con el equipo **Fyrite** que funciona por absorción del gas en hidróxido de potasio. Cuando deseamos medir los 3 gases (**$CO_2$ , CO y $O_2$**) el equipo más sencillo por absorción química es el **ORSAT**. Después se podrá medir con equipos que funcionan en forma eléctrica o electrónica (celdas electro-químicas (**$O_2$**), celdas catalíticas (**CO** ), puentes de disipación (**$CO_2$**), etc..

No sólo monóxido de carbono (**CO**) puede resultar como gas sin quemar en los gases de chimenea, pueden salir también otros gases (Hidrógeno (**$H_2$**) ó componentes orgánicos volátiles) pero que afines prácticos se toman como si fueran todos **CO** (generalmente cuando se detecta **CO** estos gases combustibles podrán estar presentes).

Vemos que los combustibles son sólidos, líquidos o gaseosos. Para poder lograr una buena combustión, necesitamos que los combustibles y el

aire se **mezclen íntimamente**, para ello no hay mejor forma que gasificarlos (volatilizarlos): los combustibles gaseosos se mezclan directamente, los combustibles líquidos se "pulverizarán" (atomización) y los combustibles sólidos se calentarán en trozos (combustión primaria) para que se "volatilicen".

Pero debe de quedar claro, que aunque el **combustible** sea **un gas**, por más que se mezcle con el aire, tiene que haber suficiente **temperatura** (calor) y **tiempo** para que **se realice su combustión** (oxidación) **completa**.

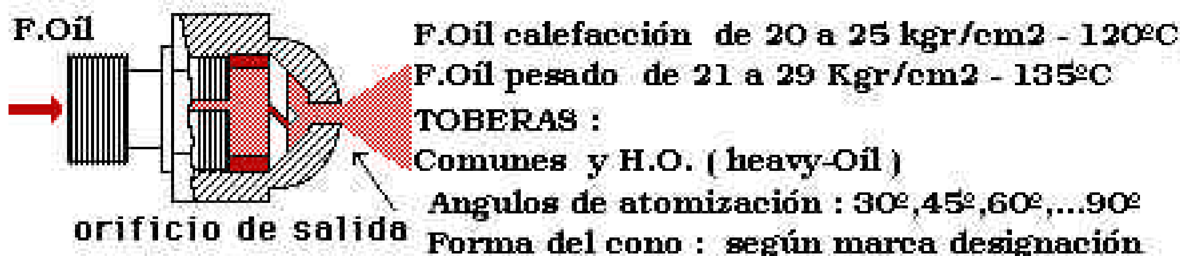



Por eso tendremos: que **los combustibles líquidos** se pulverizarán en quemadores que utilizarán los siguientes medios: asistidos por **atomización a vapor** (utilizan el vapor para impulsar al combustible en forma de "gotitas" muy pequeñas), ó **atomización neumática** (utilización aire a presión con el mismo fin), **atomización mecánica** (utilizan altas presiones de descarga en orificios llamados: "toberas", "punteros" o "pastillas", cuya forma interior permite formar un rocío muy fino al liberarse ) y mecánica de **copa rotativa** (atomizan utilizando la fuerza centrífuga).

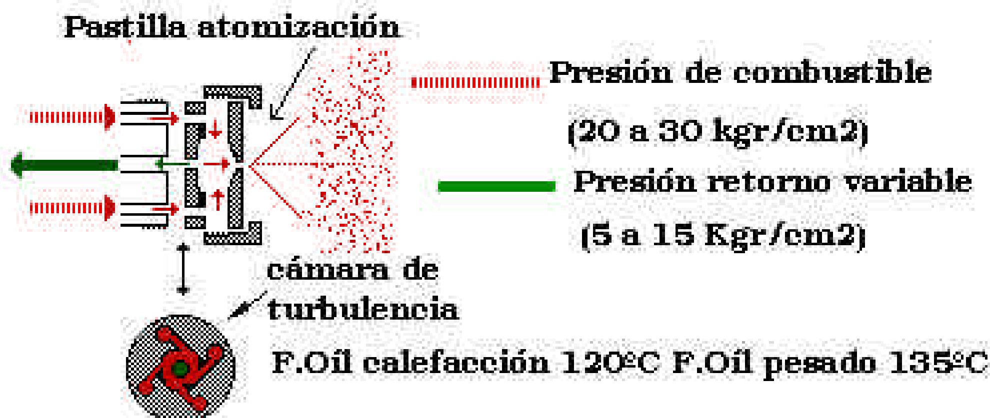
Los combustibles livianos como el Diesel Oíl y Gas Oíl se utilizan con quemadores a pulverización asistida o mecánica normalmente como vienen (sin calentar). Como los Fuel Oíl pesados y semipesados cuestan fluir por la cañerías debido a que tienen un consistencia como "pastosa" (alta **viscosidad**) cuando están fríos, para lograr su transporte por las cañerías y bombas, así como hacerlos pulverizar, es necesario **calentarlos a distintas temperaturas** según sea el **tipo de F.Oíl** y el **tipo de bomba**, **cañerías** y **tipo de quemador** a utilizar. Esta calefacción podrá ser con calefactores a vapor o utilizando calefactores eléctricos (o ambos sistemas en forma alternativa, eléctrico para comenzar cuando no hay vapor y vapor una vez que la caldera ha comenzado a generar el mismo).

**TOBERAS DE ATOMIZACION MECANICA COMUNES**

**Presión de atomización variable según combustible**




**ATOMIZACION MECANICA CON REGULACION POR RETORNO DE COMBUSTIBLE**




Así, para el **F. Oíl pesado** veremos que **para moverlo** con bombas (generalmente del tipo engranajes-desplazamiento positivo), es necesario **calentarlos a 60ºC para lograr su bombeo** sin forzar las cañerías y bombas (disminuir su viscosidad) y que para utilizarlo en los distintos quemadores, tendremos que **calentarlo** a: **Atomización mecánica** a más de **120ºC** (y más también en los quemadores modernos de arranque directo con chispa , unos **145ºC**), en los de **atomización por aire** también serán calentados a estas temperaturas (ya que el aire no aporta calor al atomizarlo, más bien lo enfría), en los de **atomización a vapor** se calentará a **por lo menos 85ºC** (ya que el vapor aporta calor, pero puede ser precalentado a **110ºC**) y los de **copa rotativa** a por lo menos **85ºC y no mucho más** (ya que si se calienta demasiado éste "patinará" sobre la copa, no pudiendo ser "arrojado" en forma de gotitas).

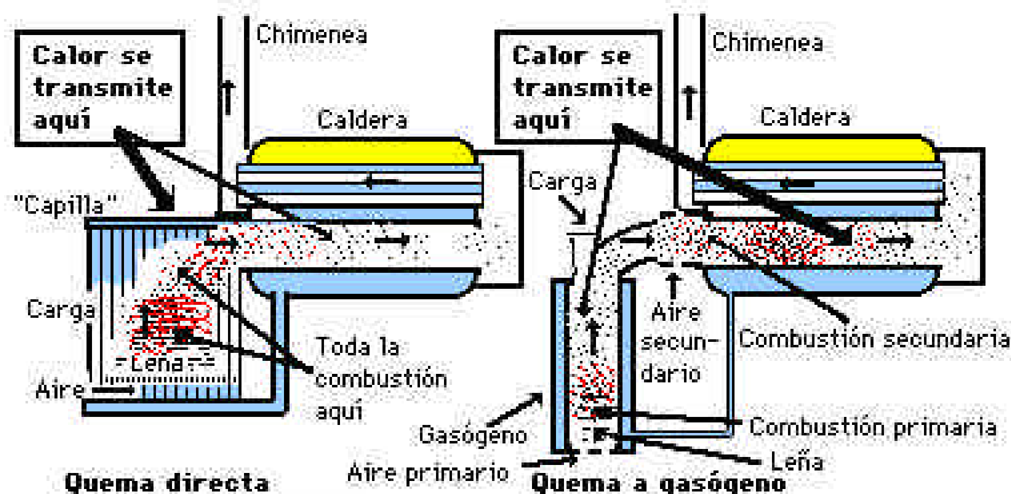
El **F.Oíl de calefacción** debe ser **calentado menos** debido a que tiene menor "viscosidad " que el F.Oíl pesado a la misma temperatura, unos **120ºC**. (**Viscosidad:** es una medida que permite comparar el trabajo que hay que hacer para hacer fluir o pasar un líquido por una cañería o restricción, generalmente **a mayor temperatura los líquidos disminuyen la viscosidad**. Hay varias formas de expresarla, por lo general son tiempos de pasaje de una determinada cantidad de líquido a una temperatura por un orificio ) .

Todo **combustible calentado en tanques** produce gases que son explosivos o fácilmente inflamables, se deberá tener un sistema adecuado para su calefacción. (con el venteo de gases que descargue en zonas no contaminantes o confinadas).

El exceso de temperatura produce ensuciamientos en las líneas y "tapones" de vapores que dificultan al bombeo (pérdida de succión de las bombas). De la misma manera la presencia de agua provoca problemas de atomización y combustión.

Cualquiera sea el combustible que utilicemos: **antes de encender, debe de hacerse un " barrido " con aire (** al máximo aire, un tiempo que depende del tipo de combustible) **de la mezcla de gases combustibles que pueden formarse en el hogar** (restos de combustibles que se volatizan) ya que su encendido podrá ser violento por la mezcla de estos gases y el poco aire necesario para el arranque, produciendo una "explosión de hogar" y según el tipo de caldera podrá ser altamente peligrosa. (toda caldera debe ser "ventilada o barrida con el aire " antes de encender sus quemadores o fuegos, y cada vez que se intente su encendido, aún al fallar un intento de encendido. Veremos que los quemadores automáticos tendrán esta etapa incluida en su sistema de arranque ).

En muchas condiciones se deberá usar un combustible auxiliar para el encendido del combustible principal: puede ser un pequeño mechero de gas (generalmente automático), mechero manual de gas o con "hisopo" de Queroseno o Gas Oíl , o en el caso de la leña con un pequeño fuego con "trapos empapados " con combustibles semipesados (con el hogar frío y ventilado). Todas estas operaciones deben ser cuidadosamente pensadas para evitar un accidente (La llama auxiliar después del barrido con aire y siempre antes que el combustible principal) . No intentar encender con el calor del refractario del hogar, si no hay piloto, hay riesgo de explosión.




**Los sistema de combustión de leña** los podemos resumir en las siguientes clasificaciones : **quema directa y gasógeno.**

**En la quema directa**, como su nombre lo indica, la combustión se produce en un hogar en forma completa, actuando con una alta temperatura de radiación directa sobre este hogar, pudiendo quemar prácticamente todos los combustibles imaginables (de leña y cáscaras - arroz, girasol, coquitos, etc., de pequeños y grandes tamaños: de "chips" a "rolos" largos). El hogar donde se produce la combustión total generalmente está formado por una estructura refrigerada por circulación de agua (acuo-tubular- se llama por su

forma: "capilla"), siendo su % de vaporización muy elevado con respecto al cuerpo de la caldera en sí (más del 40%), esto le da a la caldera una gran respuesta.

## QUEMA DE LEÑA (EUCALIPTOS)

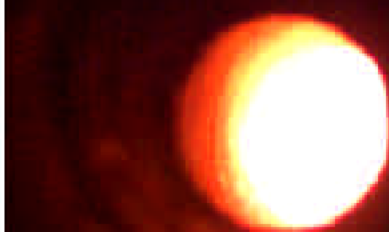
### LLAMA QUEMA DIRECTA VISTA DESDE MIRILLA HOGAR




**En la quema por gasógeno**, se efectúa una quema parcial (una gasificación) en un hogar con "falta" de aire (se produce gran cantidad de CO, este primer hogar es refrigerado por agua de la misma caldera) , haciendo luego una segunda combustión en otro hogar (generalmente en el interior de la caldera u hogar principal- con calor convectivo y conductivo fundamentalmente por ser la llama menos luminosa). El combustible normalmente tolerable son "astillas grandes " o "rolos" cortos, no pudiendo quemar indiscriminadamente cualquier combustible (tolera menos los altos % de humedad). En el gasógeno sólo se produce una parte mínima de la combustión, siendo ésta muy baja en la producción de calor (ya vimos que la formación de CO es 1/3 del calor total ), en el gasógeno es baja la transferencia de calor, haciéndose ésta en el hogar de la caldera (o sea en la segunda combustión, por lo que es muy importante que esta combustión sea completa antes de entrar en los tubos).

Ambos sistemas mantienen un nivel de carga de combustible y su combustión se regula ajustando los aires, primarios , secundarios, etc..

En el caso que deba detenerse la combustión momentáneamente, **se cerrarán los aires totalmente**, pero se debe tener precaución al reiniciar la combustión en el caso del gasógeno , el cual necesitará una llama "piloto"( en algunos casos) debido a que es necesario el "reencendido" de la combustión secundaria (de los contrario podrán producirse contra-explosiones) en otros la misma llama primaria se "alarga".




**Elementos indeseables en los combustibles** :

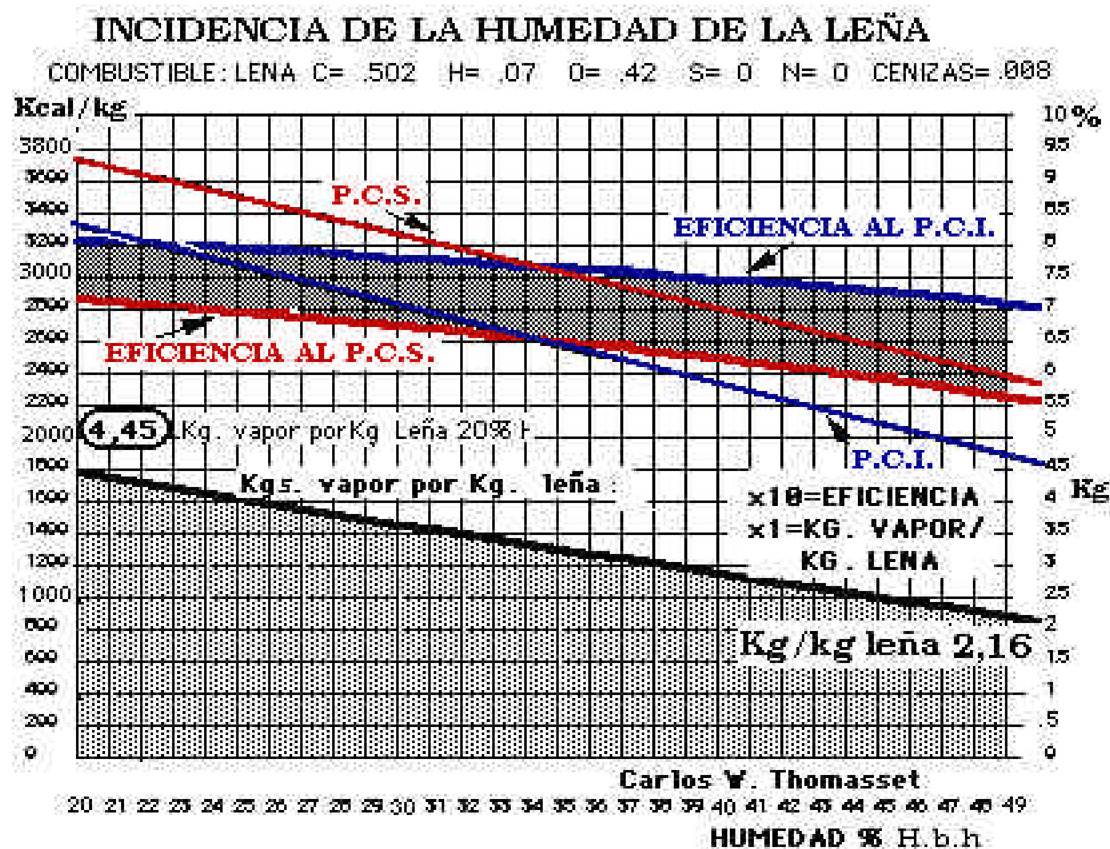
Todos elementos que puedan perjudicar el funcionamiento del quemador o la combustión, deben de ser evitados.

El **agua** en los combustibles líquidos y gaseosos o "humedad en los combustible sólidos ", deben ser evacuadas antes de llegar al quemador o en el caso de la leña, que sea lo más seca posible, ya que no sólo provocan pérdidas de energía, sino que en los quemadores de líquidos y gases pueden provocar mala atomización (inclusive el apagado del quemador o la dificultad de su encendido. Aunque una pequeñísima cantidad de agua en el combustible puede favorecer su combustión - menos del 1% en emulsión completa se dice que actúa como un catalizador de la misma).

En el caso de la leña (eucaliptos y otras biomasas), la presencia de agua en exceso, provoca no sólo pérdidas por evaporación del agua, sino que la combustión se hace más difícil de completar, lo que cual provoca un ensuciamiento prematuro de las superficies de transferencia de la caldera, no solo perdiendo calor por la chimenea, sino dificultando el pasaje de los gases, lo cual provoca un falta de "tiro" (baja el exceso de aire cuando en estas circunstancias la alta humedad obliga a trabajar con más exceso de aire). Si bien en chimenea no se ven humos, hay una pérdida importante por gases no quemados, que no solo ayudan a aglomerar la ceniza sobre las superficies de los tubos, sino que son gases contaminantes (no sólo CO, sino una variedad de otros elementos orgánicos no deseables, que no hemos aprovechado el calor y contaminan la atmósfera).

# LEÑA

## Poder Calorífico por Kg. disminuye con la humedad

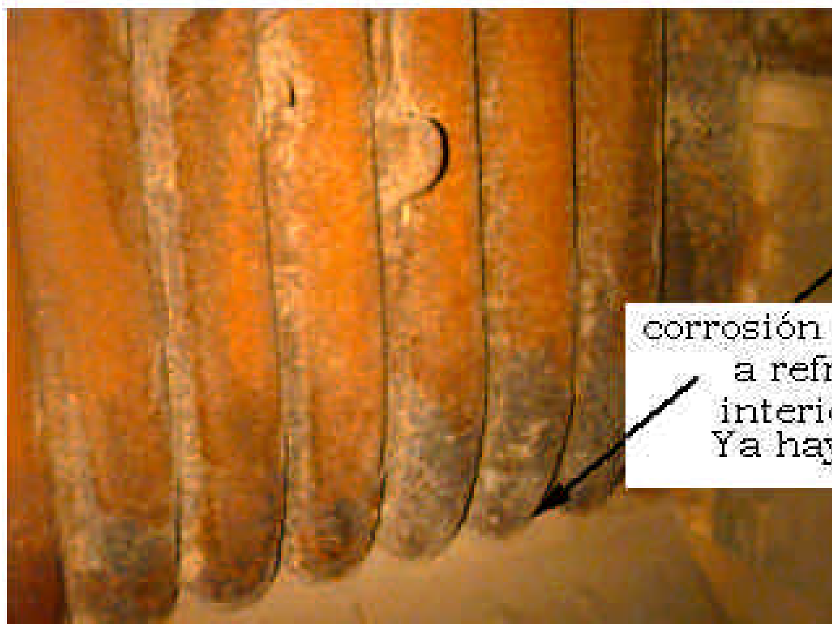



El **azufre** , aporta muy poco calor, siendo altamente corrosivo, en lo posible debe ser evitado (su corrosión puede ser muy importante en la caldera, hay una corrosión en zonas frías: recuperadores de calor - economizadores y calentadores de aire- o en zonas calientes - sobrecalentadores - en este caso actúa por el vanadio en el caso del F.Oíl).

Este **azufre, combinado con la humedad del combustible más la del agua que se produce al quemar el hidrógeno que contiene el combustible, forma anhídrido sulfuroso (que catalizado forma ácido sulfúrico, un elemento muy corrosivo cuando se trabaja por debajo del punto de rocío de los gases, en Fuel Oíl aprox. 180ºC). Esta corrosión hace que los economizadores, los calentadores de aire y ciertas partes frías de las calderas sufran corrosiones muy importantes.**

**El Fuel Oíl, el carbón, la cáscara de arroz, contienen azufre en distintas proporciones.**

## PROBLEMAS DE CORROSION EXTERIOR




**Pero, si bien el azufre aparece como el gran problema de corrosión en la parte de fuegos de las calderas (especialmente en zonas frías, debajo de los refractarios, etc.), los combustibles celulósicos (leña) y los gases pueden son corrosivos cuando la combustión no es completa.**

**La Leña cuando tiene mucha humedad o los gases (gas natural, gas de garrafa, etc.) con mala combustión (falta de aire, baja temperatura de combustión, mala mezcla aire combustible, etc.) producen como resultado una combustión ácida (son elementos orgánicos), como ácidos piroleñosos, que atacan el metal en las zonas frías: debajo de los refractarios, cajas humos, ecos, calentadores de aire, etc. que muchas veces superan el ataque por azufre, del cual nos cuidamos más. Hay calderas que en pocos años han perdido su espesor del metal del lado de gases de combustión, que han quedado fuera de servicio al perder espesor las paredes de los tubos.**

"**Barros y arenas**" en los combustibles líquidos provocan desgastes y problemas de ensuciamiento. La instalación de filtros y el lugar adecuado de las tomas del combustible permiten su limpieza (tanques de decantación para el agua y barros que se purgarán regularmente). En gases si no hay buen tratamiento de los mismos, pueden ocurrir ataques por azufre, depósitos de elementos por "arrastre" y hasta "hollín" (algo que nadie se "imagina", pero si falta aire, mezcla del gas con el aire, baja temperatura, etc., se produce hollín).




## Manejo de los combustibles:

Los combustibles gaseosos son muy peligrosos, su manejo responde a normas muy estrictas. Todo manejo de combustibles líquidos se debe hacer de acuerdo a su "peligrosidad", es decir, si es fácilmente "inflamable ", (que sea explosivo al mezclarse con el aire o que se prenda fuego con facilidad, se mide al hacer el análisis que se llama "**Flash Point**" : da la temperatura en la que se prende fuego en el aire al contacto con una llama) o que pueda mantener fácilmente la combustión (esto se mide por el análisis "**Fire Point**" : que mide la temperatura a la que el combustible una vez encendido es capaz de mantener su combustión en forma continua por sí sólo en contacto con el aire).

Así veremos que el orden de tener cuidado en su manejo es del Gas Oíl, al Diesel Oíl, al F.Oíl Calefacción, al F. Oíl pesado (**cuidando de no poner nunca Nafta o disolventes en un tanque con combustible**).

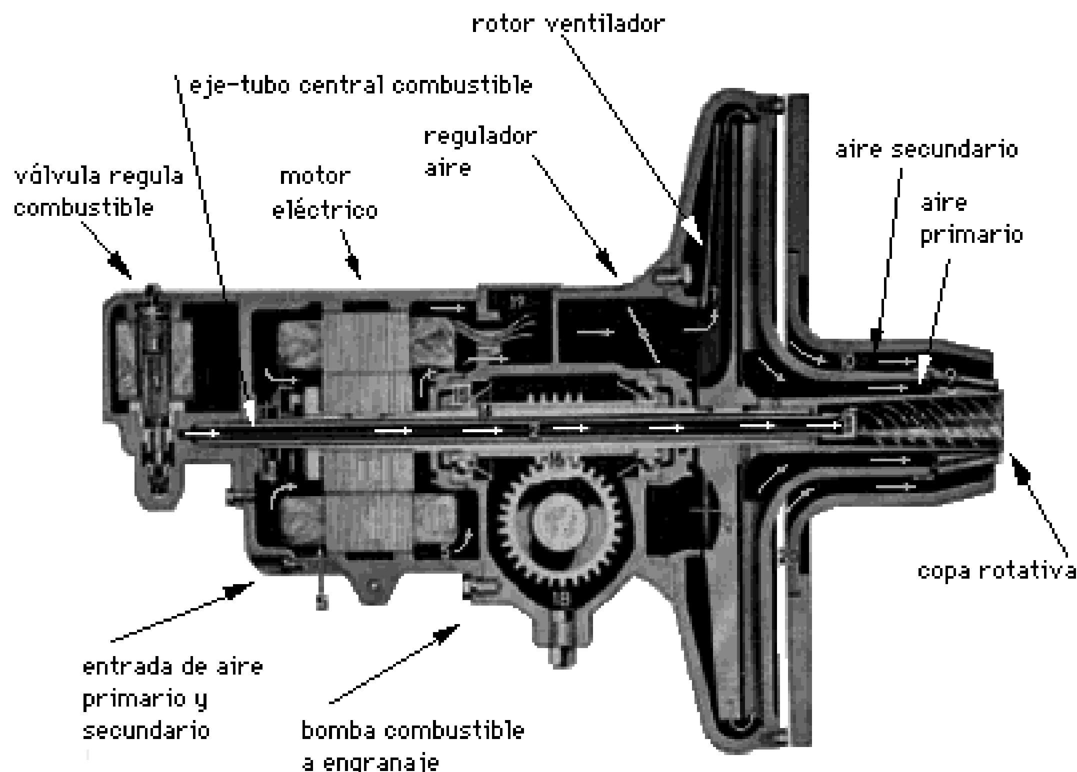
En el caso de la leña, si se establecen "pilas" o "montones" de leña muy picada ("**chips**"), al ser acumulado con humedad, si ésta se encuentra mucho tiempo estacionada puede provocar el "ardido" o combustión por fermentación, que si bien es una combustión lenta al principio, puede degenerar en un incendio.

Siempre que se entren en tanques de combustibles u hogares, estos deben ventilarse correctamente y asegurarse que no haya mezclas explosivas de combustibles gasificados con aire. En el caso que sea necesario **soldar o reparar un tanque** que ha tenido algún combustible es conveniente una **limpieza con vapor de 48 horas** (introduciendo vapor

de baja presión con un caño que lo distribuya en el interior, ventilando y sacando su condensado en la parte inferior; haciendo luego "correr" aire con un forzador. Antes de soldar "probar" si es posible con un "explosímetro" si no hay una mezcla de gases explosivos - inclusive es conveniente mantener una fuerte circulación de aire mientras se suelda o repara el tanque, ya que pueden desprenderse gases al calentarse la "chapa" del tanque con la misma soldadura).

**Nunca debe hacer este tipo de tareas una persona sola. Tomar todas la precauciones necesarias: es una tarea muy "peligrosa".**

**Los tanques de combustible deben ser correctamente diseñados** para facilitar el venteo de gases, la limpieza anual, la purga de aguas, la calefacción del combustible, la corrosión exterior, la inundación por lluvias o la pérdidas de combustible a subsuelo, así como su aislación al rigor del invierno.




**QUEMADOR COPA ROTATIVA PARA COMBUSTIBLES LIQUIDOS**

Recordar que: **cada quemador se ajusta a cada tipo de combustible**, por lo que se deberá tener la precaución de evitar equivocaciones al pedir combustibles o tener cuidado al mezclar combustibles distintos, ya que ésto puede provocar problemas de combustión o fallas que pueden ser importantes.




**Caldera de 15 Tn/h, 12 kg/cm2 de presión.**

La utilización de quemadores duales (combustible líquidos y combustibles gaseosos), obliga a tener una serie de precauciones, especialmente al pasar de quemar combustible líquido a quemar combustibles gaseosos, dado que los combustibles líquidos pueden dejar "restos" de combustibles que vaporizan (pueden ser focos de ignición del gas fuera de la zona normal en el momento de prender la llama, que el sensor de llama residual no lo llegue a detectar para bloquear la maniobra de encendido del gas principal o que tapan zonas vitales para la entrada de gas de combustión que no entra en ignición en la zona apropiada de la base del quemador). Esto ha llevado a accidentes muy graves.

Lo más importante en estos casos son prefijar los chequeos y procedimientos de cambio de combustible, así como tomarse el tiempo necesario para cumplir los mismos, ya que una maniobra anticipada, sin chequeo previo, puede resultar en un accidente.

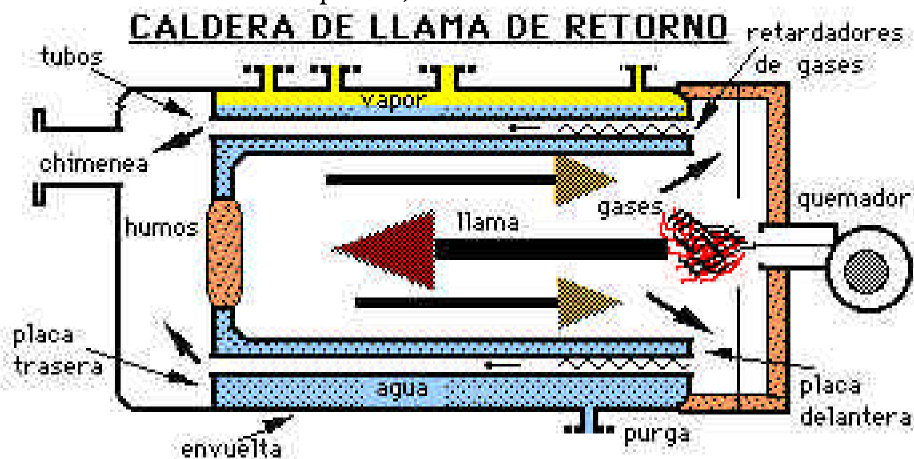
Generalmente estos accidentes ocurren en las cajas de humos, en el desprendimiento del quemador (explosiones de hogar), que afectan a las personas que están observando la maniobra: **póngase siempre de costado al proceder el encendido del quemador, cuidando que las tapas no estén en zona que Ud. esta parado si se abren**.

## 4- ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CALDERA

### **Estructura** (cuerpo y tubos)

Las calderas están compuestas por una estructura de metal de hierro (normalmente cilíndrica) que forma el **cuerpo de presión**. Este cuerpo de presión estará ocupado una parte por el agua (o mezcla de agua y vapor) y una parte por el vapor (cámara de vapor). Otra parte estará, en general, formada por **tubos** (en los cuales por su interior, circula el agua-vapor o los gases de combustión), según sea el tipo de caldera (acuo-tubulares o humo-tubulares).

En las **calderas humo-tubulares** (piro-tubulares), el cuerpo o **envuelta** tiene en cada extremo las "**placas**" que soportan al hogar (que puede ser liso o corrugado según sea necesario) y los **tubos** " de humos" (que irán "mandrilados" o mandrilados y soldados según sean las normas - en las placas).




**Mandrilado**: Es la expansión del tubo sobre el agujero de la placa, se hace con una herramienta que tiene una serie rodillos de acero que se abren al girar por la acción del eje central, estirando el tubo: aumentando su diámetro a un valor deseado de deformación del material una vez igualado los diámetros. Según sea el material esta deformación será: el acero (hierro) de un 5% al 7%, el acero inoxidable del 4% al 5% y el cobre y sus aleaciones de níquel de 8% a un 10%) Ver capitulo más adelante. Luego podrán en algunos casos ser "**pestañados** " (se hace en la parte saliente del tubo sobre la placa para evitar el "quemado" del extremo del tubo por los gases calientes, "aplastando" o "recalcando" el borde saliente sobre la placa) **ó** "**acampanados**" (expansión en forma de campana del extremo saliente del tubo sobre la placa para evitar su corrimiento en los casos necesarios ó mejorar la circulación de los gases o el agua (en las humo-tubulares o del agua en las acuo-tubulares, se hace con un mandril o cono de percusión).\

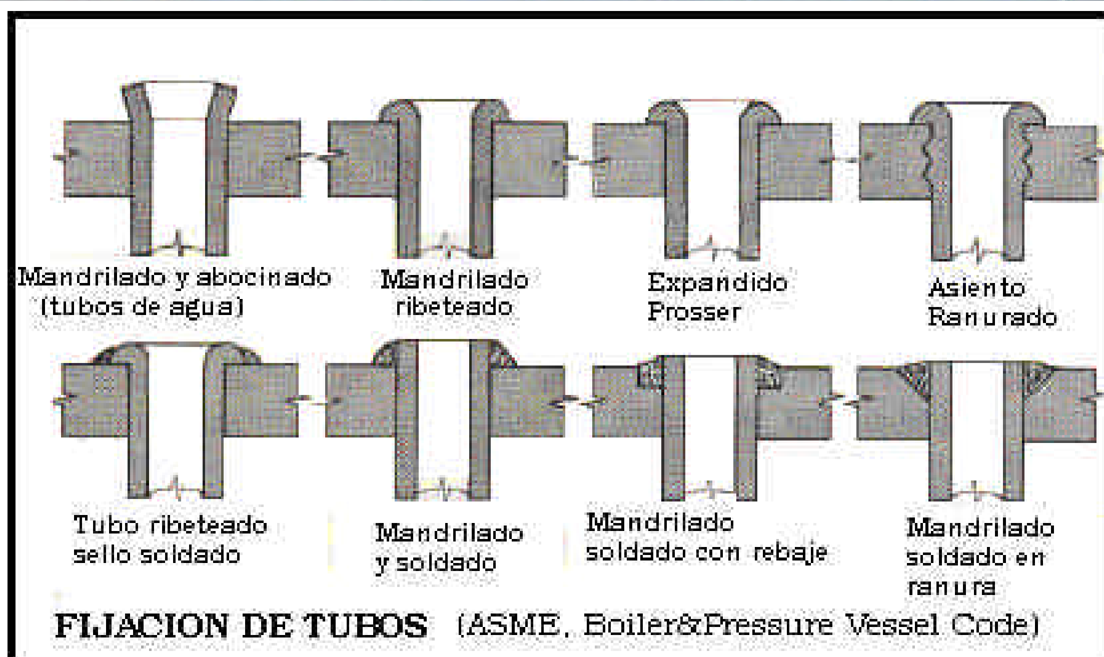
**El mandrilado de los tubos en las calderas humo-tubulares, se hace en combinación de un mandrilado** (expansión del tubo en el agujero de la placa)**, con un sellado con soldadura eléctrica** (luego un segundo mandrilado para "aliviar tensiones")**, pero en las calderas acuo-tubulares, los tubos por los general solo van mandrilados** (salvo en los colectores) **en los domos, generalmente el tubo se mandrila hasta el sellado total y una tensión de sostenimiento, con un "acampanado" no solo para evitar su "extracción" por los esfuerzos que soporta, sino también para mejorar la circulación del agua que entra en el tubo** (efecto "embudo", que disminuye la "perdida de carga" del agua al entrar el tubo)**. Ver más adelante como se hace el trabajo de "mandrilar" un tubo** (según sea el material de la placa y el tubo).


MANDRILANDO TUBOS EN UN DOMO DE CALDERA ACUO-TUBULAR

**Hoy en día, prácticamente casi todas las calderas humo-tubulares, los tubos irán mandrilados y soldados a la placa.** Los tubos irán soldados para **lograr un buen sello**, **pero habrá una serie de tubos que irán soldados con mayor profundidad de la soldadura, ya que esos tubos serán los tubos "stays" o de soporte entre placas** (o sea que soportan la fuerza que hace la presión sobre la placas que son planas). Aunque los tubos serán soldados, **previamente deben ser mandrilados** y **luego de soldarlos, nuevamente se mandrilan** para "**aflojar**" **las tensiones** que se generan con la soldadura y "reapretar" el mandrilado que se ha aflojado al soldar (el tubo que ha tomado cierta temperatura), ya que **el mandrilado es el que hace de "anclaje" del tubo sobre la placa** y **la soldadura hace de sello** y en los tubos "stays", la soldadura, también hace de anclaje (si los tubos no fueran mandrilados, lo más probable que haya problemas con el tiempo, desde pérdidas en las soldaduras por insuficiente "anclaje" o corrosión en el insterticio entre la placa y el tubo).




MANDRILANDO TUBOS A LAS PLACAS (CALDERA HUMO-TUBULAR)



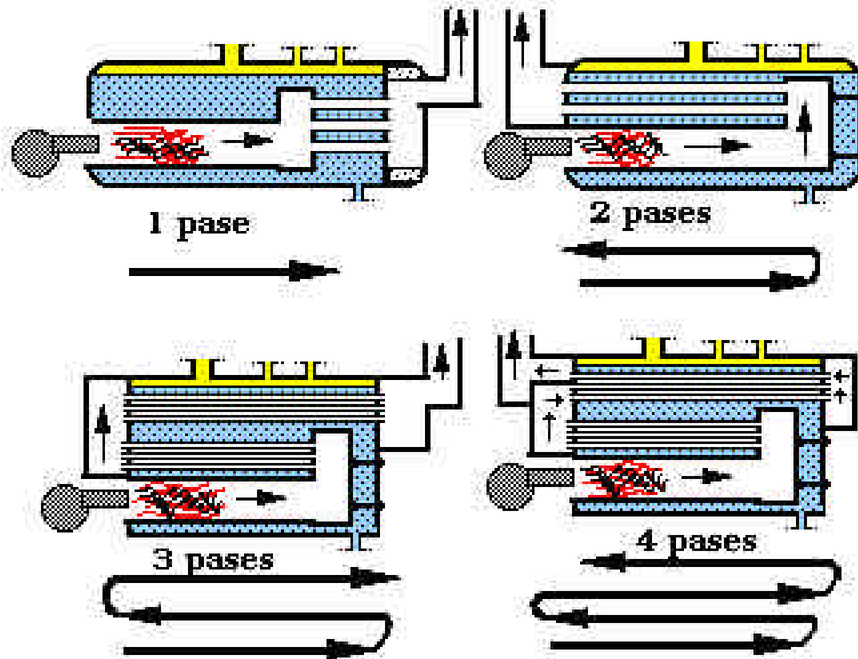

FIJACION DE TUBOS (ASME, Boiler&Pressure Vessel Code)



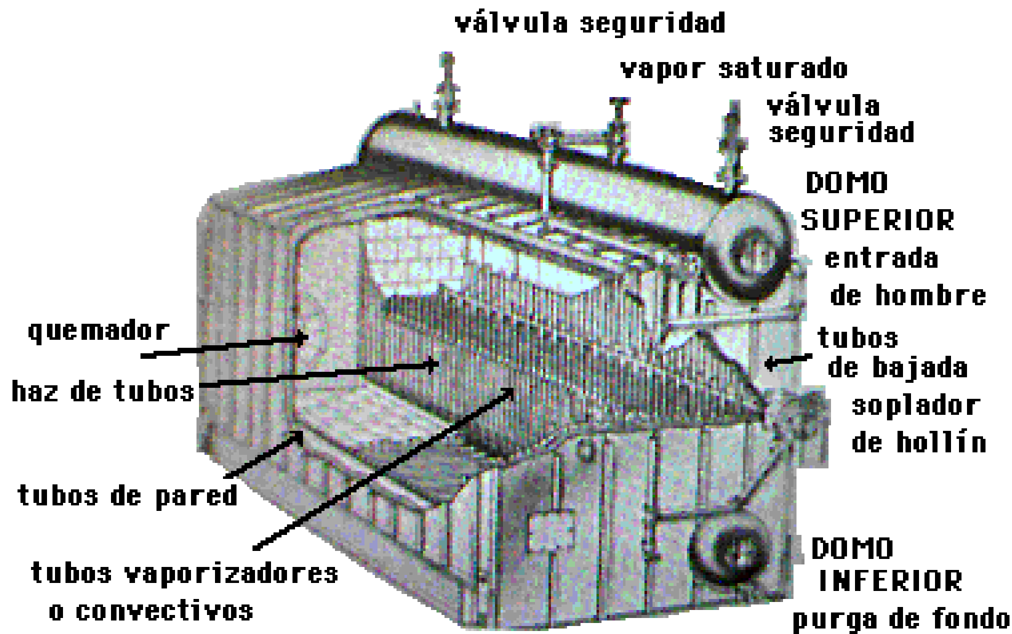
HORNO DE TRATAMIENTO TERMICO PARA ALIVIAR TENSIONES

Dado que al construir el "cuerpo de presión" de una caldera con soldadura, aunque el material por lo general es de un acero de bajo contenido de carbono (y muy alta pureza), queda con tensiones de la parte soldada, por eso se somete a un tratamiento térmico de "alivio de tensiones", este tratamiento tiene su costo, pero por lo general vale la pena que se haga, disminuyen los riesgos de fallos por fisuras en las zonas soldadas en la vida útil de la caldera (que en Uruguay por lo general son más de 30 años).

Las caldera humo-tubulares (piro-tubulares), muchas veces se clasifican por los "pasos" (o cambio de sentido de los gases), el "primer paso" es el tubo del hogar (cuando lo tienen) y el "segundo" pase es el "primer pase de tubos". Por lo general las caderas no pasan de 4 pases en total, siendo las más comunes las de 3 pasos, aunque las calderas de poca dimensión son por lo general de 2 pases.




Las **calderas acuo-tubulares** están formadas por "**domos**" o/y **colectores** que estarán unidos por **tubos** por donde circula el agua (que irán "mandrilados " y si fuera necesario "acampanados" o soldados según sea si es domo o colector).

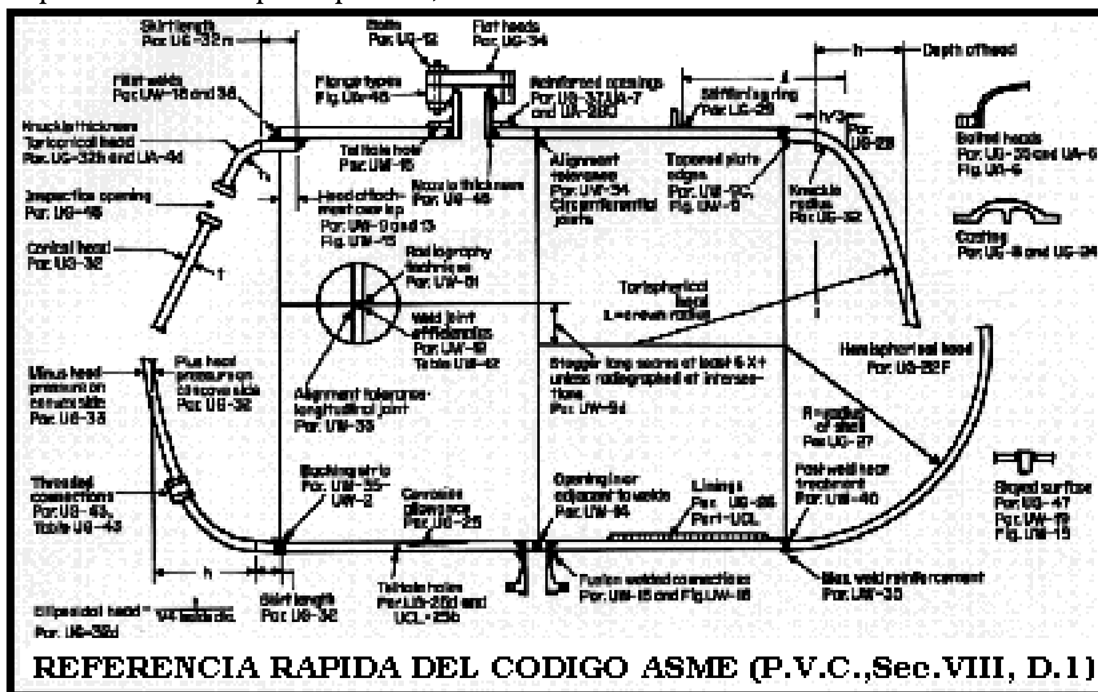


**Los metales que forman estas estructuras de presión son especiales** (si bien en general no son aceros de alto contenido de carbono, se fabrican de acuerdo a normas muy estrictas - no debiendo ser sustituidas por materiales comunes, ya que las mismas deben soportar esfuerzos muy importantes con temperaturas generalmente altas, tensiones debido a los efectos anteriores y todo tipo de sometimiento a un ambiente corrosivo, tanto del lado de los gases o del agua-vapor).

Las soldaduras también son hechas con electrodos especiales, con normas especiales (procedimientos) y soldadores calificados.

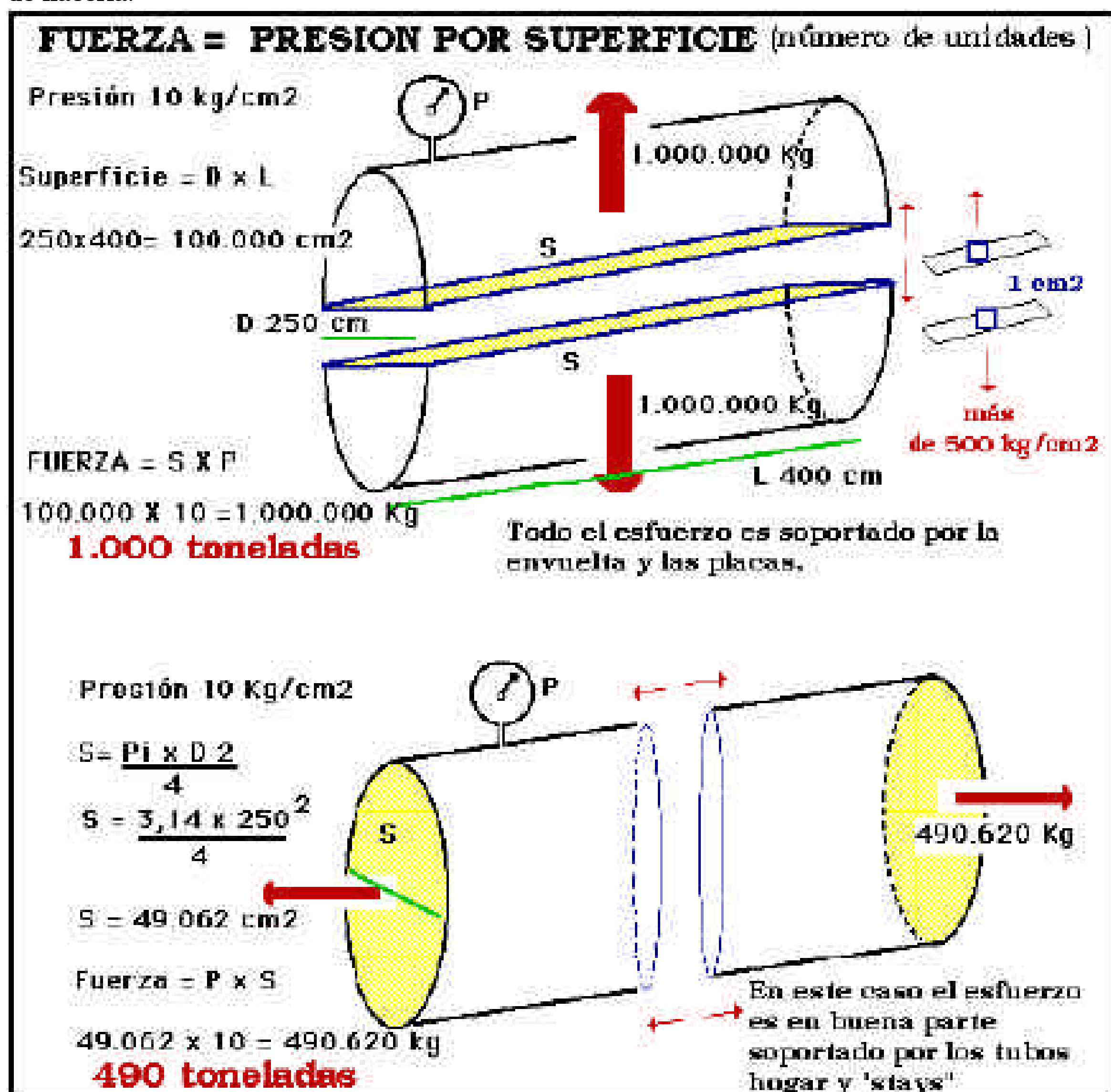
Las "envueltas" y sus "placas" en las calderas humo-tubulares, los "domos" y "colectores" en las calderas acuo-tubulares, una vez confeccionados son sometidos a "recocidos" para el "alivio" de tensiones y sometidos a Rayos X u otras pruebas para observar las soldaduras o zonas de riesgo (fisuras, inclusiones, etc.). Finalizada su construcción para observar el comportamiento de la estructura y la unión de los tubos a las placas, domos y colectores se realizan **pruebas hidráulicas**.

**Observar en la figura siguiente**, que las normas de construcción de los recipientes a presión (representada en una forma simplificada por un especialista) , fundamentalmente en calderas (un recipiente sometido a esfuerzo variables y temperaturas)_, responden a "normas constructivas" muy estrictas, ya que están en juego la vida humana y la integridad del medio en que se instala una caldera. La unión de las "placas" a las "envueltas", y la soldadura de la "envuelta" sobre si misma (para cerrar su circunferencia), son lugares especialmente "delicados", ya que están sometidos a esfuerzos de la presión y en el caso de las calderas, al esfuerzo variable de la dilatación y contracción del hogar cilíndrico (en donde hay una combustión, de "todo a nada", que en un 20% un 40% del calor total de la combustión se transfiere al agua) y el esfuerzo de la dilatación y contracción de los tubos (que transfieren gran parte del calor, entre un 40% a un 60%, de "todo a nada"). Este esfuerzo se descarga sobre las "placas" y esto puede "fatigar" la unión hasta su debilitamiento (provocando uno de los accidentes más graves, que es la "explosión" del cuerpo de presión).



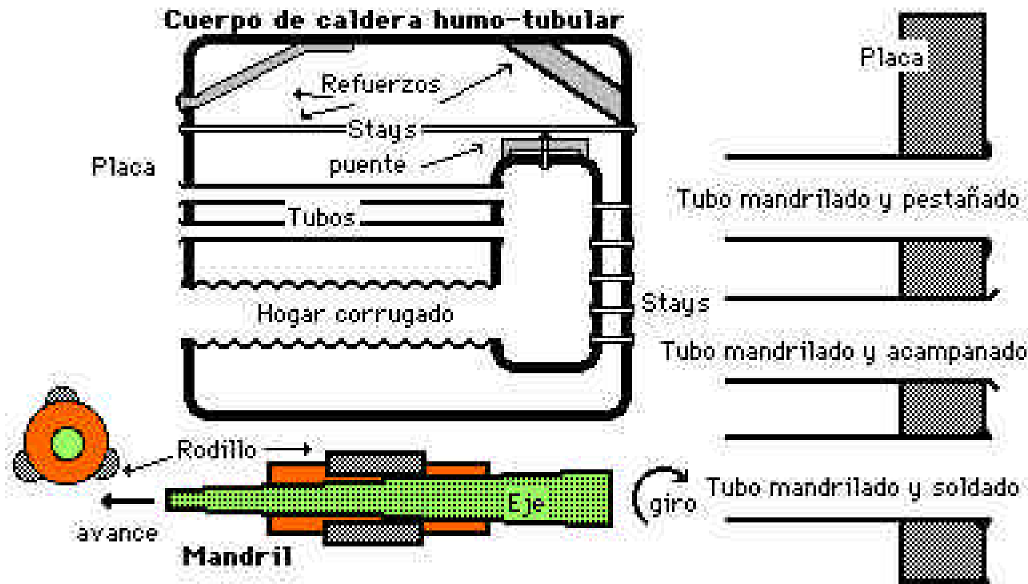
REFERENCIA RAPIDA DEL CODIGO ASME (P.V.C.,Sec.VIII, D.1)

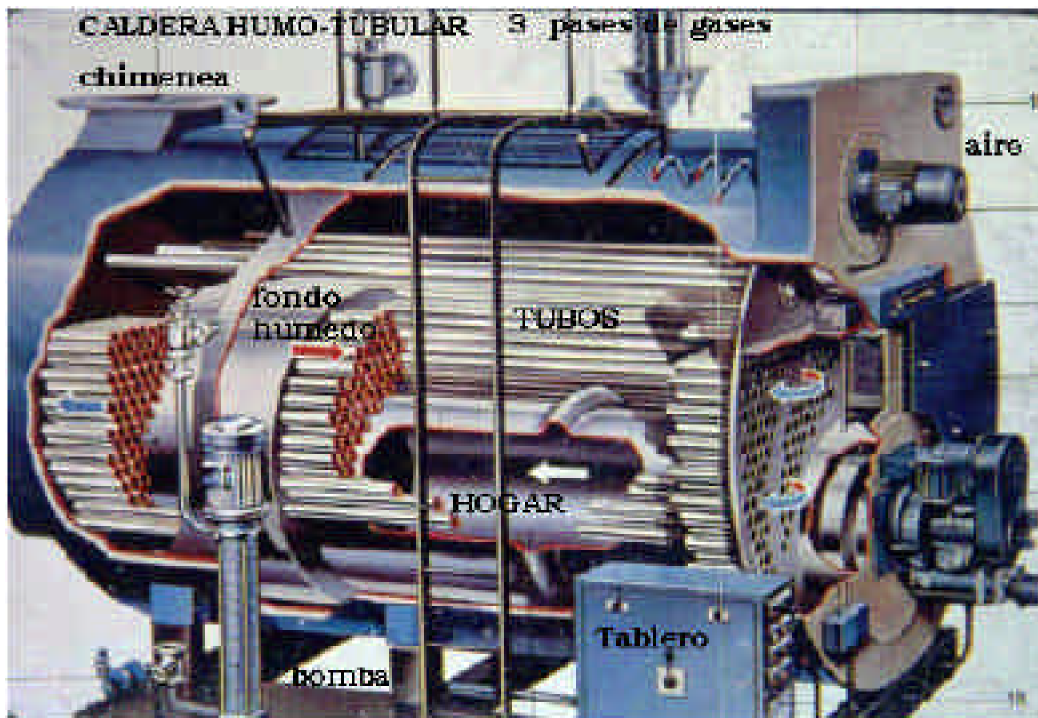
**Prueba hidráulica:** es someter el cuerpo de la caldera a una presión con agua, a temperatura ambiente, sacando totalmente el aire del interior, es un esfuerzo interno dentro del límite elástico del material (un tiempo determinado) para observar cualquier tipo de pérdida o deformación. La presión de la prueba, varía según la normas: en general, en las calderas de media presión la misma se establece como una vez y media la presión de diseño. **Las pruebas hidráulicas deben hacerse con personas capacitadas** (profesionales o idóneos), **se corren riesgos de provocar daños a la caldera en el caso que se exceda la presión, el tiempo o forma de hacerla**.




**Las calderas humo-tubulares** podrán tener también "stays" ("estayes"- tirantes internos) u otros elementos ("escuadras") y tubos "estayes" (tubos que podrán ser de mayor espesor, que se sueldan o mandrilan, pestañados o acampanados con mayor firmeza a las placas). Estos elementos mantienen las placas o zonas planas en forma correcta (sin deformación) al someterse las mismas a los grandes esfuerzos que provoca la presión (una simple caldera que funciona a 7 Kg/cm2 de presión manométrica si tiene un diámetro en

las placas de Ø1400 mm, la fuerza que debe soportar la placa será el producto de la superficie por la presión en unidades compatibles: **108 Toneladas ,** al que habrá que descontar el esfuerzo sobre la superficie ocupada por el hogar y los tubos en la placa). Estos elementos deben ser muy respetados, ya que sus buenas condiciones son necesarias (no modificarlos, cuidar que no se ataquen con corrosiones del cualquier tipo, inspeccionarlos periódicamente, etc.). El esfuerzo sobre la envuelta es aún mucho mayor.



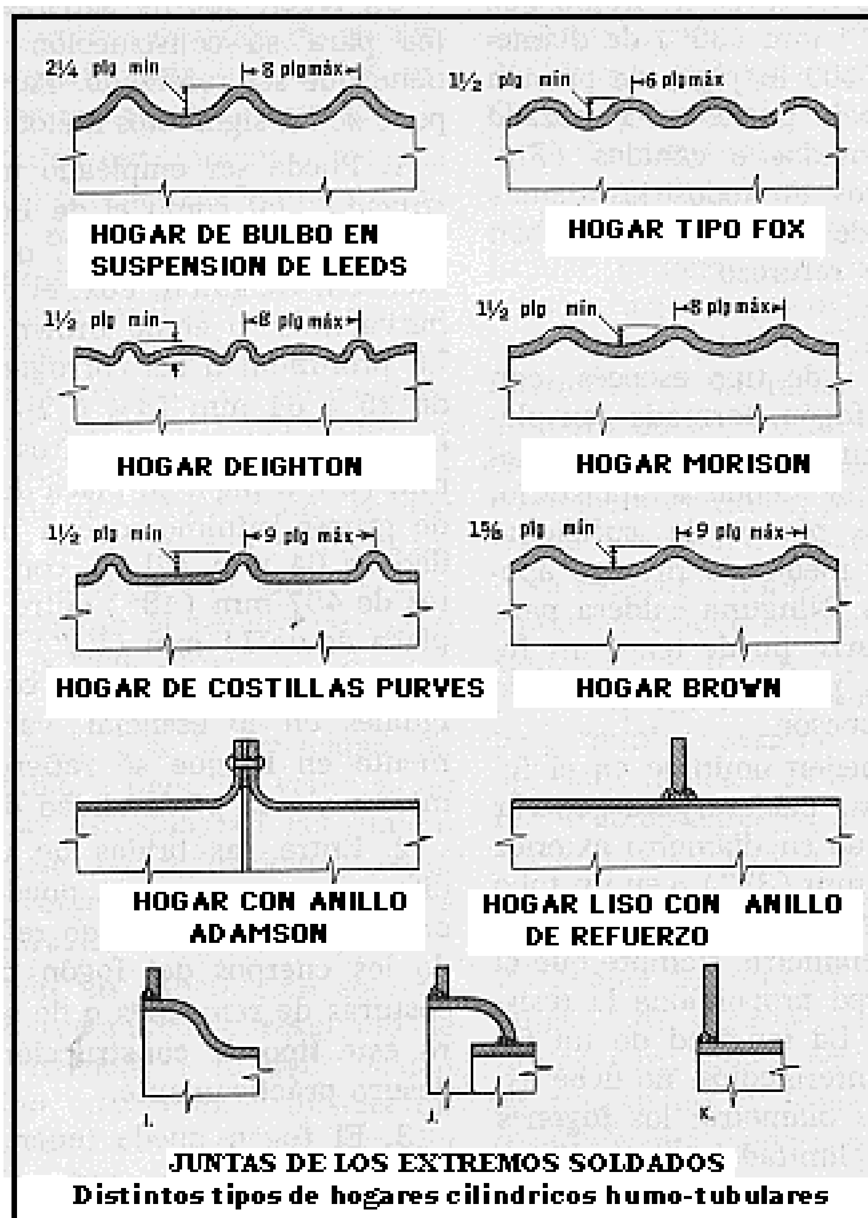


CONSTRUCCION DE UN HOGAR CILINDRICO CALDERA HUMO-TUBULAR

**El hogar cilíndrico de las calderas humo-tubulares** podrá ser "**corrugado**" (con formas cilíndricas de distinta dimensión y perfil, lo que hace que el hogar soporte mejor la presión y "absorba" en parte el gran esfuerzo de dilatación provocado por la alta temperatura de la llama en su interior) o "**liso**" (un simple cilindro, que podrá tener soportes cilíndricos, como aros, del lado del agua, es decir refrigerado, los hogares cilíndricos lisos están limitados a calderas de poca capacidad, dado que el problema de la dilatación no está contemplado, aunque en algunos casos se le pone una "arruga" o "junta de dilatación" única para este fin).

El sistema de "corrugado" más común es el sistema FOX (dado que es el más simple de hacer, ya que por lo general, una vez que el hogar se ha cilindrado, con una soldadura longitudinal única, al ser cilindrado de una sola chapa, se somete a una especie de torno con ruedas "repujadoras" con la forma de la "arruga" y sopletes que someten el material a un calentamiento en la zona a deformar. Otra forma de hacer el hogar " corrugado" es hacerlo en dos mitades con una "prensa", previo calentamiento del material a deformar, soldándose luego las dos mitades.

**El hogar cilíndrico de las calderas humo-tubulares, cumple la doble función de permitir que se produzca la combustión, está sometido a altas temperaturas, por lo cual su refrigeración del lado del agua debe ser adecuada** (esta circulación de enfriamiento, no solo puede ser afectada por un "bajo nivel" de la caldera, sino que por distintas condiciones tenso-activas del agua (límites químicos y contaminaciones) **además de las condiciones de % de combustión y disposición de la llama. Pero también juega un "roll" importante, en producir en el cuerpo humo-tubular, un "bombeo" de agua de tal manera que no solo se refrigera el metal del tubo de hogar, sino que produce una "lavado" de los tubos humo-tubulares que evita el depósito de barros sobre los mismos. Las calderas sin tubo de hogar tienen problemas si el tratamiento produce barros, no salen bien por las purgas.**

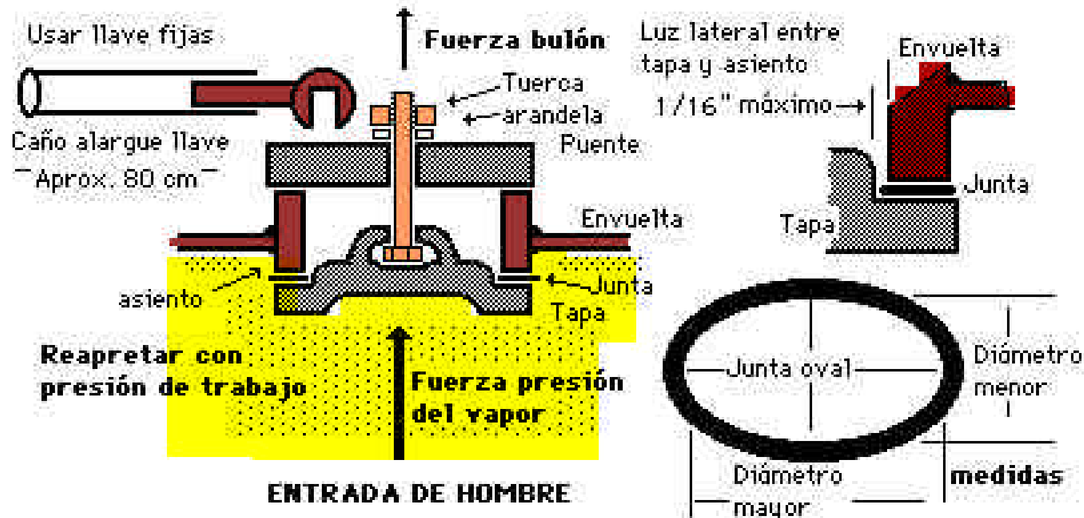



Distintos tipos de hogares cilindricos humo-tubulares

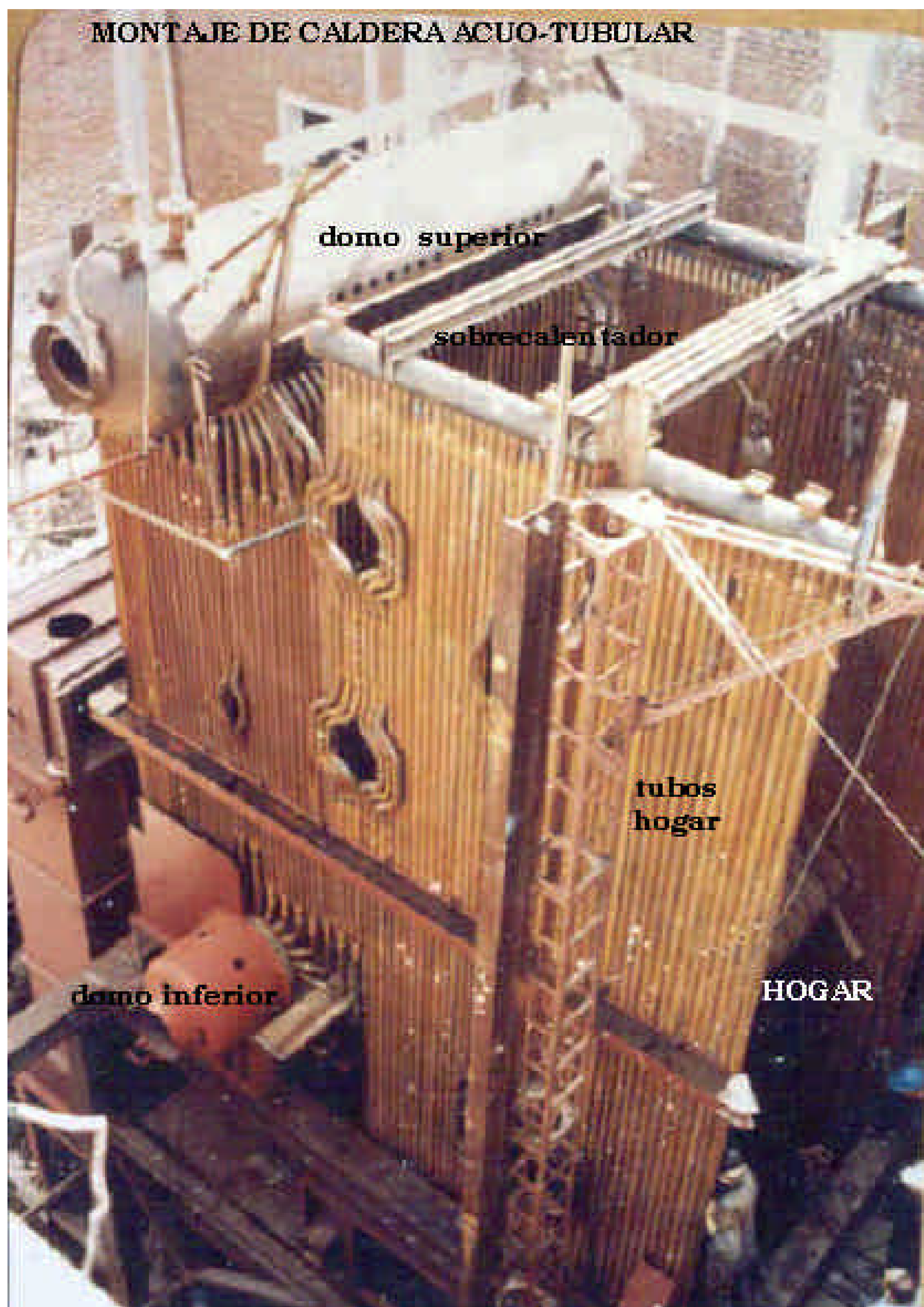
**La dilatación de hogar cilíndrico en una caldera humo-tubular, hace que se provoque un esfuerzo entre placas** (salvo que el hogar sea "flotante", como el caso de algunas calderas de llama de "retorno"), los tubos que unen las placas y la envuelta soportan este esfuerzo, dado que el calentamiento del hogar en determinados momentos provoca una dilatación mayor que los pases de tubos (por ello hay tubos reforzados , tubos "stays", cuya función es soportar este gran esfuerzo y el de la propia presión de la caldera que ejerce un esfuerzo sobre las placas que son planas y por lo tanto su forma no es la más adecuada para soportar un esfuerzo que puede distorsionarlas).

**Los tubos hoy en día van mandrilados y soldados**, antes solamente mandrilados y "recalcados" (es decir, su extremo "aplastado" o "acampanado", por dos razones, para soportar mejor el esfuerzo y para evitar que se "quemen" las "puntas sobresalientes de los tubos" en el primer pase de tubos, en donde la temperatura está en los 900ºC , a la salida del hogar). Los tubos "stays", antes eran de mayor espesor, en algunos casos con "tuercas" de afirmado, hoy por lo general estos tubos son soldados con mayor "agarre" , soldadura más profunda, que los tubos que solo deben mantener la "estanqueidad" con la soldadura. Cuando una caldera está incrustada, tienen los hogares, placas y tubos, menor enfriamiento, lo que provoca mayores dilataciones que tienden a fisurar las soldaduras de los mandriles, o aflojar los tubos mandrilados, "rajar" los tubos y las placas entre agujeros de tubos, o hasta la fisura de los extremos de hogar o cuando no, su fatiga y colapso. **Este mismo problema de dilataciones anormales, se produce cuando las calderas son calentadas demasiado "rápido" cuando están frías.**

**Las entradas de "hombre", "cabeza" o "mano", nos permite inspeccionar el interior de la caldera, tanto para su limpieza como observación. Por lo general estas están sobre envueltas, domos o placas.**

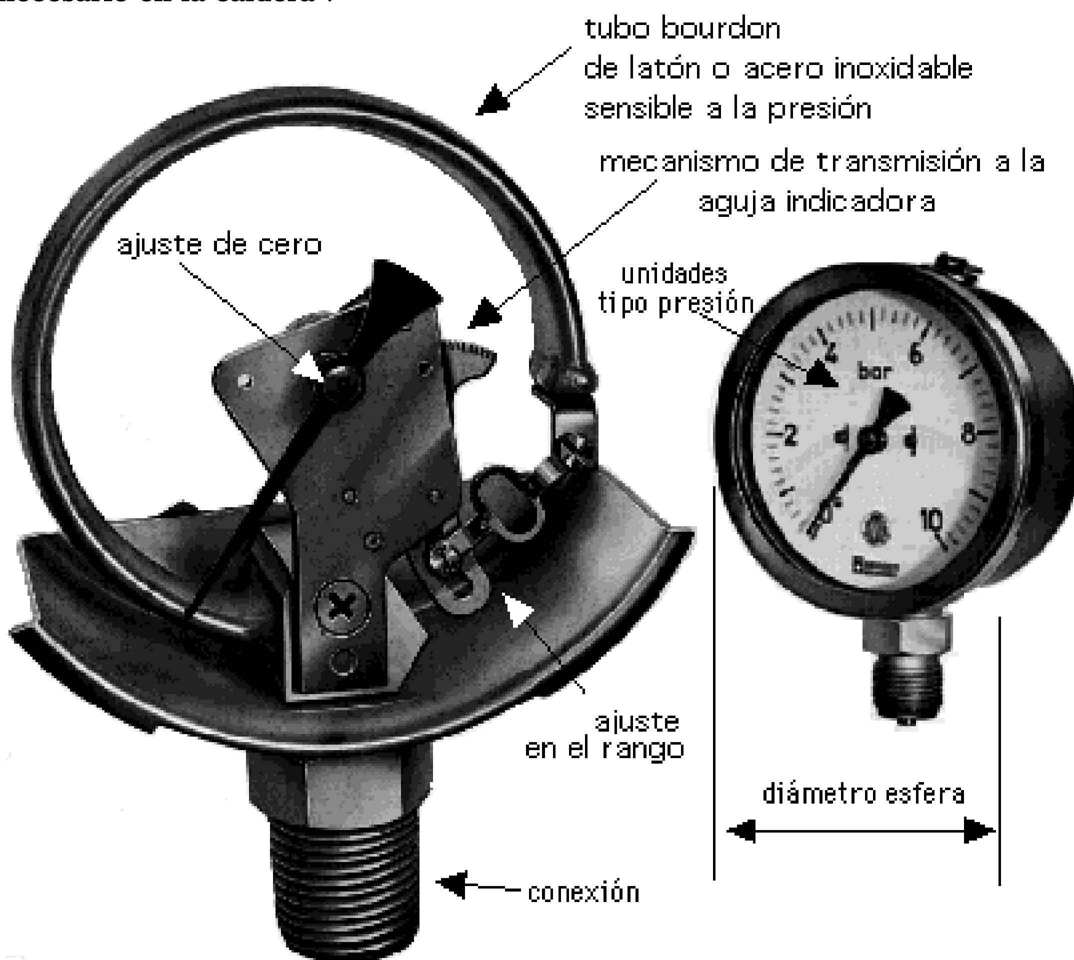



**A este "cuerpo" que forma la caldera , debemos aplicar una serie de accesorios para su correcto funcionamiento y su seguridad que trataremos a continuación .**


MONTAJE DE CALDERA ACUO-TUBULAR
domo superior
sobrecalentador
tubos
hogar
HOGAR
domo inferior

## El manómetro

Este elemento nos permite **controlar la presión interna del agua y el vapor** (presión de trabajo), es muy importante que su **indicación sea correcta**, ya que el esfuerzo que soporta la caldera esta medido en base a la presión y la cualidad del vapor está controlada por la presión (como vimos, la temperatura de saturación del vapor del agua corresponde a una determinada presión). Podemos decir que **es el instrumento de mayor precisión necesario en la caldera** .

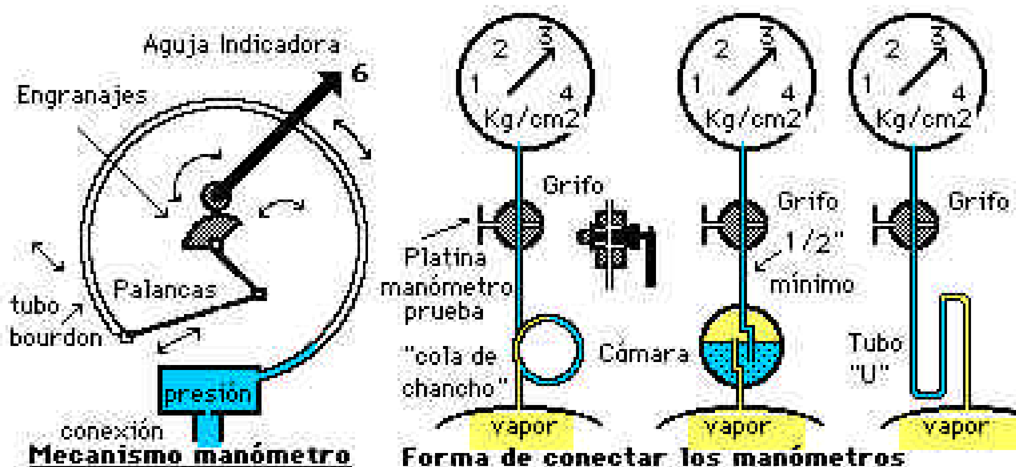


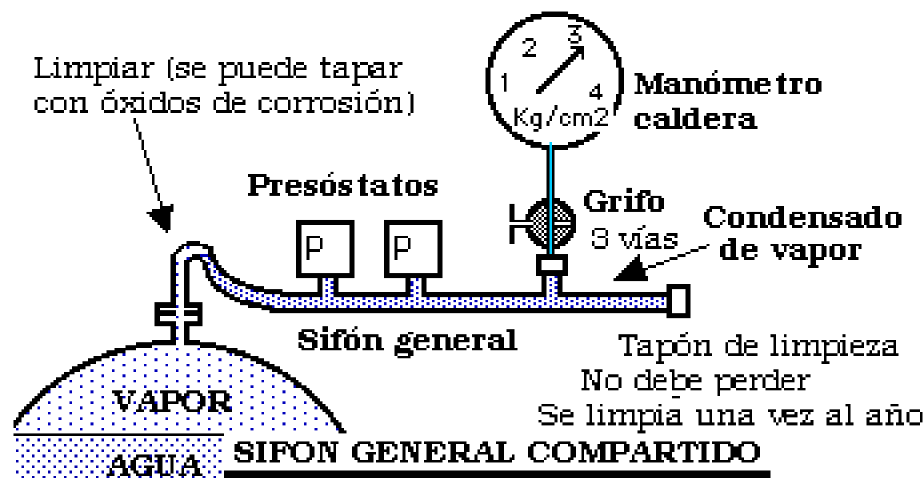

MANÓMETRO PARA CALDERA

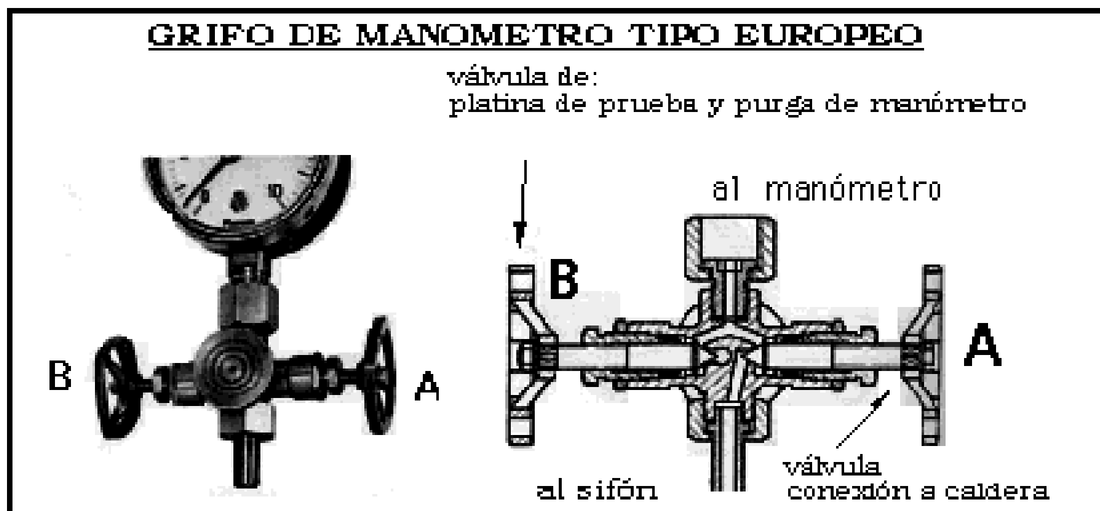
Una aguja indica la presión en la unidades establecidas (Kg/cm2, libras/pulg.2, etc., pudiendo ser la indicación absoluta o relativa, generalmente es relativa: "manométrica". Esto se verifica al poner al aire la conexión -o enfriar la caldera con el grifo atmosférico abierto, la presión **indicará cero** al ser manométrica). La aguja es movida generalmente por un tubo doblado de metal (bronce o inoxidable) que se llama tubo de "bourdon", que al ser sometido a la presión tiende a ponerse recto, moviendo un mecanismo de palancas y engranajes que harán rotar la aguja. La escala del manómetro deberá ser de 11/2 vez la presión de "timbre" (o sea la presión de diseño máxima de trabajo para que abra la última válvula de seguridad), siendo su esfera de un tamaño grande para ser vista desde toda la sala de calderas (e igualmente iluminado). El manómetro irá conectado a la cámara de vapor con **un grifo de 3 vías para purga eventual o la conexión de un manómetro patrón o el**

**cambio del manómetro** (hay por lo general dos tipos de grifos, tipo americano o tipo europeo, el tipo americano tiene una válvula de 3 vías tipo grifo, el grifo tipo europeo, tiene 2 válvulas que hacen la misma función), **además un sistema que lo aisle de la acción directa del vapor** (el calor y los gases corrosivos), que podrán ser: una "cola de chancho", un tubo 'U" o de cámara.

**El grifo 3 vías, es especial**, nunca se podrán aislar el manómetro y la salida al patrón (platina), de manera de quedar con el manómetro con presión hidráulica, en una falsa presión, ya que la presión interna se irá por el orificio de la platina, o escapará vapor por la platina; la "manija" irá hacia abajo junto al caño (caño mínimo 1/2") cuando esté en servicio normal, de esta manera por error nunca quedará desconectado y se ignore la presión interior. Si se cierra la conexión con la caldera, bajará la presión a cero por descargar por la platina o se podrá trabajar con el manómetro patrón mientras se cambia el manómetro de servicio. En el grifo tipo europeo, el manómetro y la platina del manómetro patrón de prueba, ya están separados por una válvula que cierra la conexión a la platina, lo que hace posible quedar aislados de la caldera por error si alguien cierra la válvula de conexión con el sifón. Se debe estar muy atento a la maniobra de estas válvulas para evitar un error que simule una falsa presión (grifo cerrado a la conexión del sifón). Si se cierra el manómetro, también se cierra la platina, por lo que no se puede cambiar el manómetro con el manómetro patrón en servicio.






**Deberá hacerse una comprobación anual de funcionamiento del manómetro** ("calibrado" o comparación con un manómetro patrón).

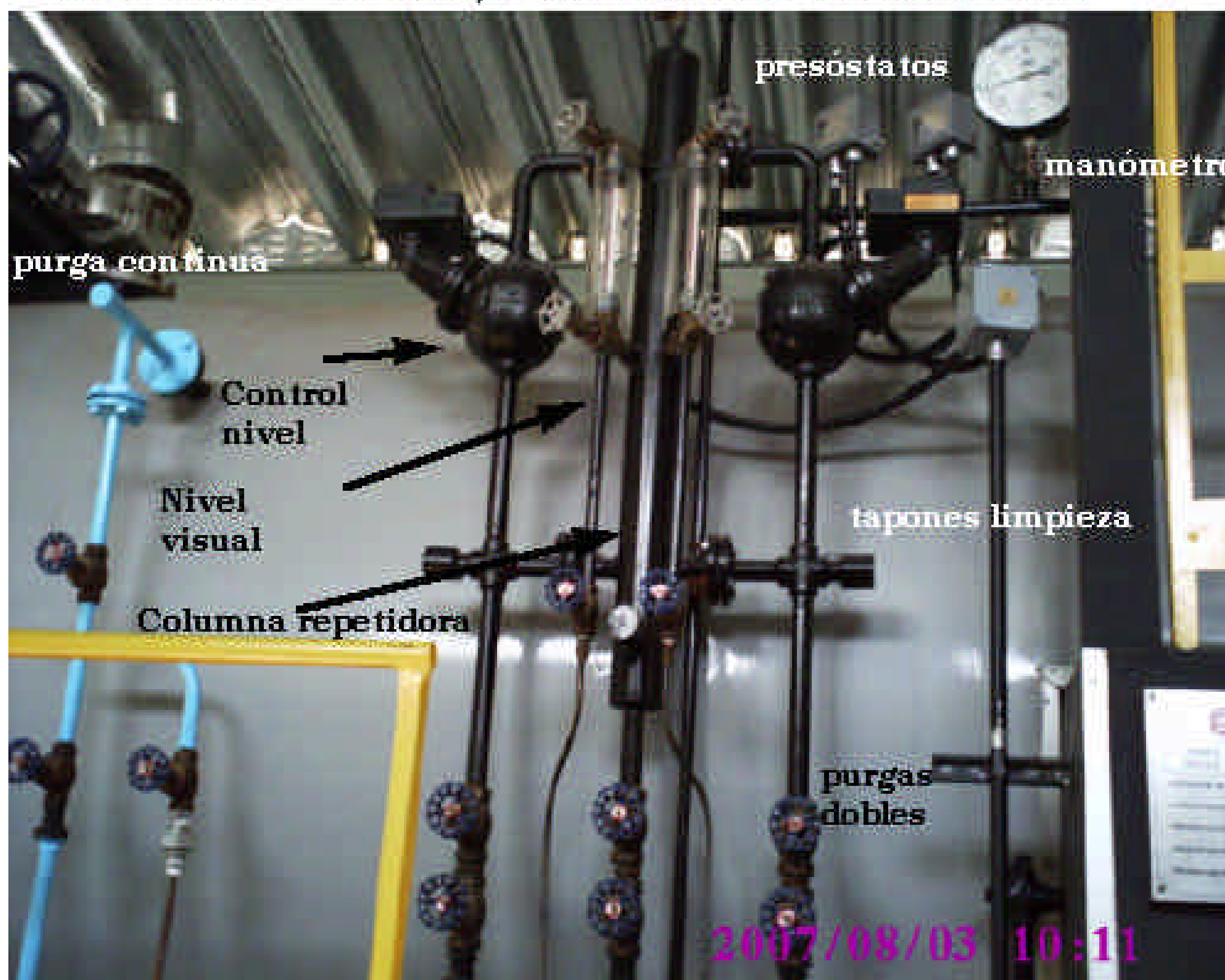
**Hay varias fallas que se pueden producir entre los elementos de control de las calderas y las conexiones a la cámara de vapor** (en caso de calderas de vapor). **Desde el error humano de poner válvulas de cierre entre los sifones y la caldera** (que jamás debe hacerse)**. Pero lo más común es que el tapón de limpieza extremo de un "sifón" múltiple** (tanto para el manómetro como los presóstatos de control) **pierda, lo que provoca que haya corrosión en el caño que hace de sifón, que tiende a taparse** (o las conexiones del manómetro o de los presóstados)**.**

**El grifo Europeo, por error se puede cerrar la conexión con la caldera con presión hidráulica en su interior y dar una falta lectura, que al pretender usarla como referencia puede inducirnos a error.**

**El otro caso es cuando se ponen purgas en el extremo de sifón común y se trata de purgar seguido al sifón, esto afecta tanto al manómetro como a los presóstatos por efecto de entrar en contacto con el vapor y no con el agua condensada ya fría del sifón** (esto era una antigua práctica que se hacía en las calderas por los malos tratamientos químicos que tendían a tapar la conexión del manómetro).

**Es común que los sifones y especialmente el sifón "común"** (compartido por manómetro y presóstatos) **se "tape" por corrosión** (ya que el agua condensada en el sifón no tiene tratamiento químico de la caldera, es condensado corrosivo, más por el CO2 de los bicarbonatos que se descomponen con el calor)**, al taparse este sifón común, puede hacernos llevar a error de pensar que no se logra la presión de trabajo y sin embargo saltan las válvulas de seguridad al no cortar el quemador a la presión debida** (conviene cambiar este sifón cada tantos años y especialmente en aguas de pozo)**.**

CONEXION DE NIVEL, PRESOSATOS Y MANOMETRO



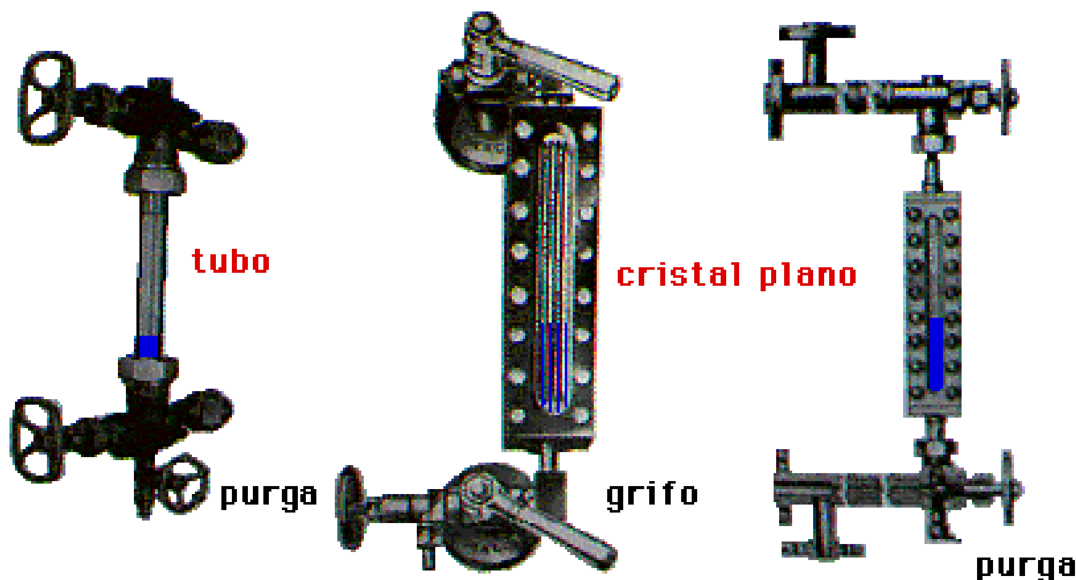

En este caso no lleva grifo de prueba (porque tiene 2 niveles visuales)

# Niveles

El nivel sirve para controlar y poder mantener una altura del "nivel" del agua en el interior de la caldera (esto se logra haciendo entrar mayor o menor cantidad de agua de alimentación a medida que esta se evapora). **Es tan o más importante que la presión, debido a que una caldera con falta de agua pueda "quemarse" o inclusive llegar a producir una "explosión"** (al quedarse sin agua se produce el recalentamiento del metal y su ablandamiento, la evaporación espontánea del agua de alimentación sobre el metal caliente produce sobre-tensiones del metal debilitando la estructura, etc.). Por eso veremos que tendremos **tres formas de controlar el nivel de agua**, cada una en apoyo de las otras dos.

# NIVELES VISUALES

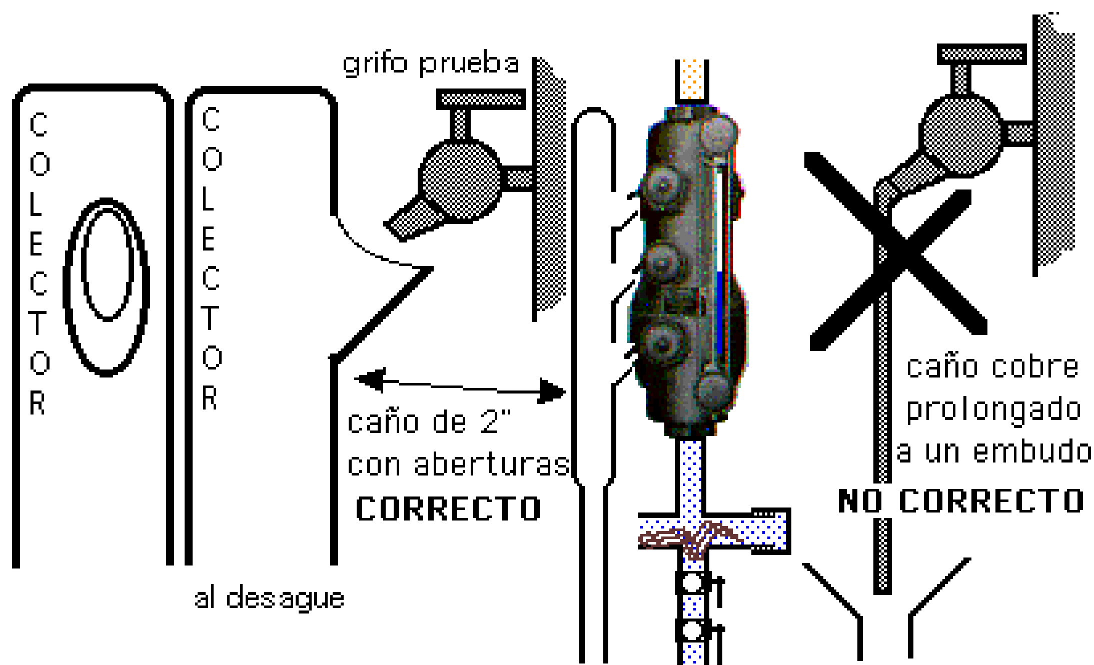
**Los cristales y tubos sufren el ataque del agua cuanto más alto sea el PH y la presión.**




**Nivel visual**: Es un tubo de vidrio cilíndrico o un "tubo" con caras planas de vidrio (o cristal) que se encuentra conectado a una columna repetidora del nivel interno del agua de la caldera. Está conectado por medio de grifos a la columna (que permiten su cierre para el cambio del vidrio o cristal, así como el control de la purga) y a un grifo de purga (para el vaciado cada pocas horas de marcha, para limpieza y observación del restablecimiento del nivel). La conexión a la columna es por medio de orificios pequeños u orificios con "bolillas" de retención, de manera que si se rompe el vidrio (ó cristal) la pérdida de agua y vapor no sean peligrosas para poder lograr el cierre de los grifos y su reparación (deberá tener una pantalla de acrílico o vidrio templado sobre el tubo para la protección eventual al observar, por si el tubo o cristal "estallara". **Buena iluminación**, pudiéndose disponer un fondo de contraste adecuado de resalte visual, de manera de resaltar la separación entre el agua y el vapor. Esto se logra de varias formas: en los cristales planos, poniendo ranuras en el propio cristal, en los tubos de cristal, poniendo una parte posterior del propio tubo en color una franja en forma longitudinal, o fuera del tubo, en la parte posterior una pantalla de fondo con ranuras semi-horizontales, generalmente en blanco y negro). Los **cristales y tubos**, **son atacados por la soda libre del agua**, cuanto más alta es la presión de trabajo y la soda, aumenta el ataque al "vidrio" del tubo o cristal, haciendo que estos "estallen", para evitar esto en calderas de alta presión, se pone una separación de "mica" entre el cristal y el agua.

**Grifo de comprobación del nivel visual**: Son **3 grifos puestos directamente sobre la columna repetidora** (o columna hidrométrica) de tal manera que con ellos podremos saber si el nivel del agua se encuentra en su lugar correcto (el superior en la zona de vapor, el central en nivel normal y el inferior en la zona de mínimo nivel de agua). Estos grifos deben ser probados en forma diaria para asegurar su funcionamiento. (En caso de rotura del nivel visual estos grifos son el control visual de emergencia, abriendolos para ello).

Estos grifos tienen la forma de descarga (orificio y largo) de tal manera que el agua y el vapor son diferenciables (esto se logró luego de pruebas efectuadas con distintos grifos), ya que es muy importante la diferenciación (para no confundir cuando hay solo vapor o agua con vapor de "flash").

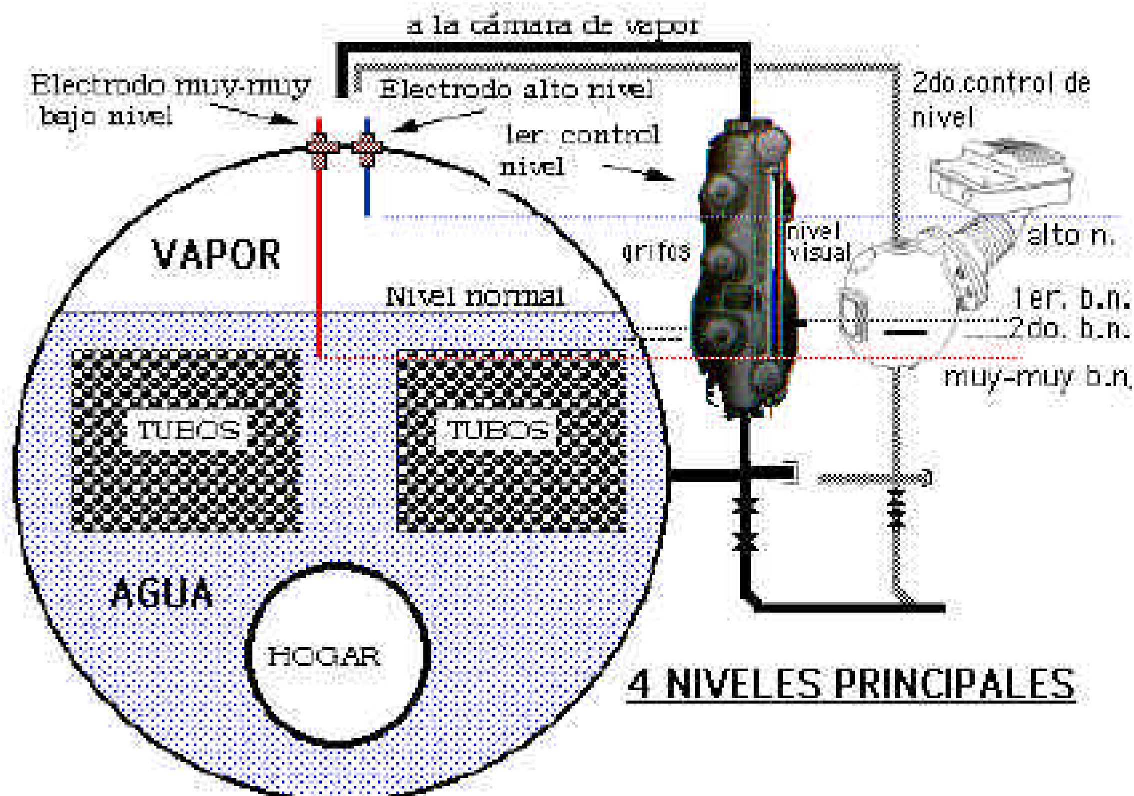



**FORMA CORRECTA DE CONECTAR DESCARGA DE GRIFOS DE PRUEBA**

**No deberían colocarse caños de prolongación en la descarga de los grifos,** que puedan afectar la observación visual para la diferenciación entre el vapor y el agua, ya que si se hacen caños de prolongación, pueden condensar parte del vapor y hacer confundir al observador (ya que los de agua caliente también tienen vapor de "flash").

En caso que se desee recolectar la descarga, esto se hace en un caño de un buen diámetro, que por medio de aberturas o "copas", frente a cada grifo que descarga en el aire, el fluido descargado entra por la abertura o en la copa.

**Nunca conectar el colector o caño de purgas, que está abierto a la atmosfera, al sistema de purgas, ya que al purgar de fondo o de nivel, puede provocar un reflujo de agua caliente y vapor que puede quemar al operador.**

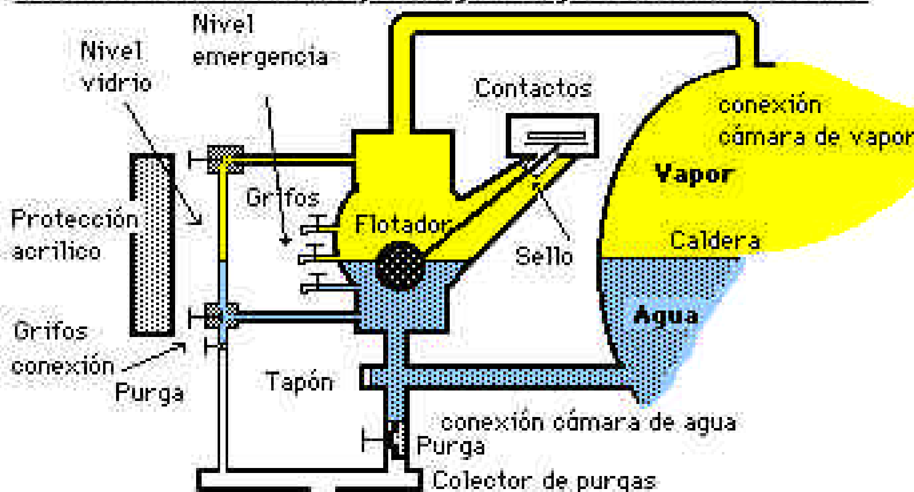



**Control de nivel automático:** Con los controles de nivel visual solo podemos alimentar el agua en forma manual y si la caldera se queda "sin nivel" (bajo nivel de agua), podremos apagar el quemador o "fuego" en forma manual (estando siempre presente el "foguista"). Con los **controles de nivel automáticos** podremos **gobernar la bomba de alimentación** (prendiendo-apagando la bomba ó cerrando- abriendo el agua de la bomba de alimentación), **pero fundamentalmente**, en caso de **bajo nivel**: **apagará el quemador o los "fuegos"** (leña - corta y cierra el aire de combustión y el tiro inducido) y hará **sonar una alarma de bajo nivel de agua** (alarma y luz indicadora de la falla). Recién cuando se restablezca el nivel normal se podrá activar nuevamente la combustión. Apagar la combustión al tener bajo nivel es lo más importante.

Estos controles de nivel podrán ser **mecánicos** (flotador), **eléctricos-electrónicos** (basados en la conductividad eléctrica del agua por medio de **electrodos, lo cual los hace vulnerables a problemas relacionados con la conductividad del agua y el ensuciamiento de los elementos aislantes del electrodo**, por aceites, barros o incrustaciones), **térmicos** (basados en la diferencia de la transferencia de calor entre la zona de vapor y de agua, en un tubo expuesto a ambos elementos). Los mecánicos de flotador son los más comunes en baja y media presión. En media y alta presión podrán utilizarse otros, como los **medidores de presión diferenciales** (miden la diferencia de presión entre una columna de agua con el nivel normal y la columna de agua del nivel real de la caldera, dicha diferencia se compara y traduce a un valor eléctrico o neumático, indicando en repetidores en % de nivel o en valores ópticos por medio de luces para ser observables por el foguista, y en ordenes de comando sobre el sistema de alimentación y de seguridad de nivel mínimo y máximo de la caldera.

Estos controles de nivel deberán **ir conectados al cuerpo de la caldera sin válvulas de conexión** (para evitar accidentes por olvidos), **con purgas para su "purgado" total**

**cada pocas horas y sus conexiones deberán tener tapones para limpiezas periódicas** (cada 6 meses o un año, según sea necesario, ya que se pueden bloquear por los barros acumulados en su interior).

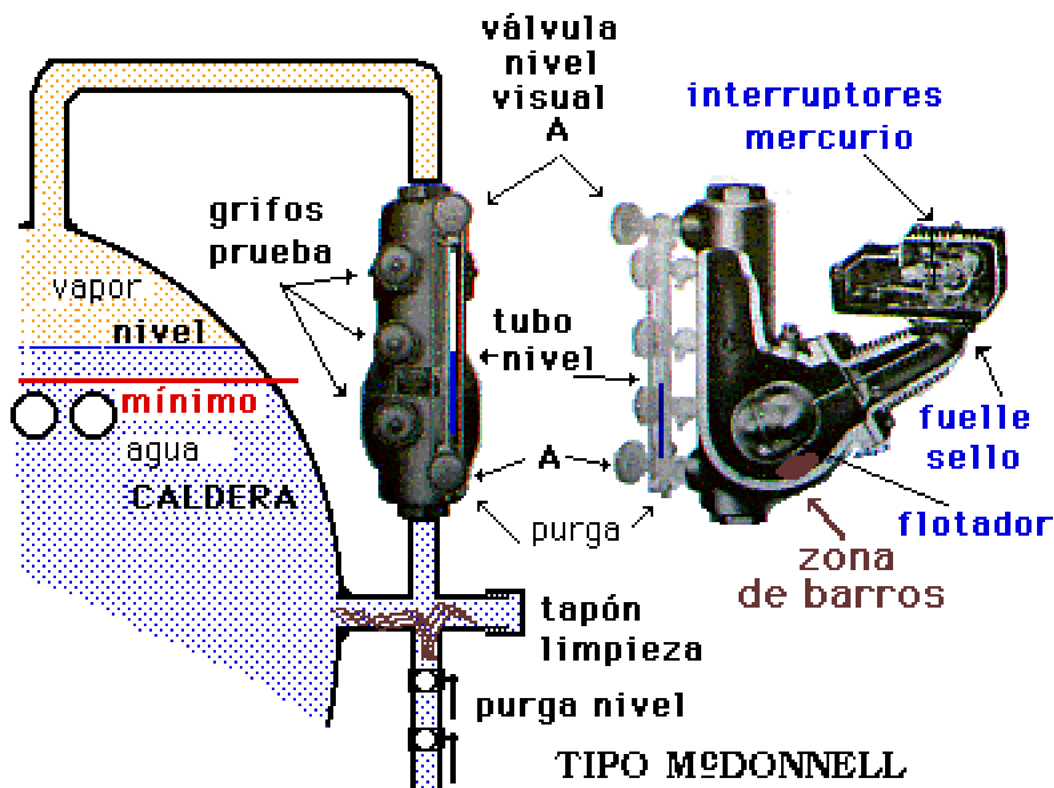



Las descargas de las purgas a los colectores, es conveniente que tengan una descarga "desviada" con una curva (evitar el choque, que hay desgaste por erosión de la descarga) o poner una chapa de choque de acero inoxidable en el colector donde impacta la descarga.

Las **calderas modernas**, cualquiera sea el combustible, tienen por lo menos **dos controles de nivel automáticos** (por si falla el principal) de manera de **que puedan siempre producir el corte del quemador por bajo nivel de agua** (y su alarma correspondiente, este segundo control **bloquea el quemador hasta que el operador lo habilite nuevamente, previo de investigar la falla del primer control de nivel y la causa del bajo nivel**). Esto se debe a las altas vaporizaciones logradas, que hacen que una caldera pueda quedar sin agua muy rápidamente si hay una falla en la alimentación de agua (falta de agua en el tanque de alimentación, bomba de alimentación bloqueada-por vapor o mecánicamente-, falla de automáticos de alimentación, rotura de caños, maniobras mal hechas, etc.). Los controles de nivel son muy importantes, **deben ser purgados cada 4 horas**, abriendo totalmente las purgas (y en los automáticos fijándose que se apague el quemador si este estuviese prendido y que suene la alarma de bajo nivel). **Las purgas de los niveles** deben **ir conectadas a una cañería de purgas** (colector de purgas), de manera de poder **abrir totalmente las purgas** para producir arrastre de los barros (Si la purga estuviera al "aire", no se podrá abrir totalmente, por riesgo a quemarse, y el barro acumulado por ser poca la purga, bloquearía el control con el tiempo ).

A medida que la caldera trabaja en automático con poca supervisión permanente, pueden existir dos controles de nivel extra: uno por **muy bajo nivel de agua** (que si el nivel del agua llega a ser tan bajo nivel y los niveles primario y secundario no cortaron la combustión, pero por encima de las zonas de transferencia de calor, en las humo-tubulares por encima todavía de los tubos superiores) , **este nivel de muy bajo nivel corta la corriente al tablero principal de la caldera** (apagando todo, quemador y bombas de alimentación), y el otro control de nivel adicional que puede haber es el de **muy alto nivel de agua** (este control apaga la corriente al tablero y con ello también la bomba de alimentación, lo que no permite que siga subiendo el nivel de agua , para evitar que se produzca un arrastre de agua de caldera a las cañerías de vapor, o sea protege al sistema de vapor y no a la caldera)**. Ambos niveles tienen su alarma sonora y lumínica, con rearme manual** para que el operador pueda saber que es lo que está pasando.

Generalmente ambos controles son por medios de electrodos de conducción con el agua de la caldera y dos electrodos con un potencial eléctrico que detecta la presencia de agua (uno de los electrodos puede ser el cuerpo de la propia caldera). Ambos controles exigen que se rearme el sistema de corriente al tablero de control (previo investigar la razón de la falla del alto nivel o del bajo nivel, especialmente el no haber sido detectado por los dos primeros controles principales de nivel cuando hay bajo nivel).




NIVEL DE AGUA AUTOMATICO CON NIVEL VISUAL

No se debe por ninguna circunstancia mantener el quemador prendido si no se ve el nivel de agua (bajo nivel o alto nivel), ni alimentar con agua hasta que la caldera esté fría en caso de bajo nivel importante. En este caso se debe cerrar la válvula de vapor y dejar enfriar , para luego inspeccionar.

Puede ser que "aparentemente" no se ve el nivel de agua, debido a que la calderas se encuentra "inundada" o sea con un nivel de agua por encima del que se puede ver por el control de nivel visual, también en este caso se debe apagar el quemador para evitar un arrastre de agua que pueda provocar un golpe de "ariete" que pueda romper con su fuerza alguna parte de la instalación (golpe de "ariete", agua que se introduce en la cañería de vapor y toma la velocidad del vapor, pudiendo descargar toda su energía dinámica o velocidad, como si fuera un golpe de martillo, al ser detenido de golpe en un codo, válvula o equipo que use el vapor).

Como se observa en el croquis anterior : **no es conveniente** (no se debe) **conectar los controles automáticos de nivel que corten la combustión por bajo nivel a la caldera**

**por medio de cañerías que tengan válvulas de corte** (solo los niveles visuales deben tener válvulas de corte para aislarlos de la caldera en caso de rotura del cristal, tanto para evitar la pérdida como su reparación). Si hubiera una válvula de corte en un nivel automático de corte por bajo nivel, se correría el riesgo que **por error, olvido o malicia, al quedar cerrada una válvula, el nivel no responde y la caldera se quede sin agua y se produzca un accidente por falta de nivel de agua en la caldera** (el accidente más común por distintas razones y que tiene consecuencias impredecibles).

Muchas veces estas válvulas se instalan con el pretexto de poder purgar mejor el control de nivel o reparar el mismo en caso de falla, pero es más peligroso que el resultado práctico que se pueda lograr : **no lo haga!!!!!!**

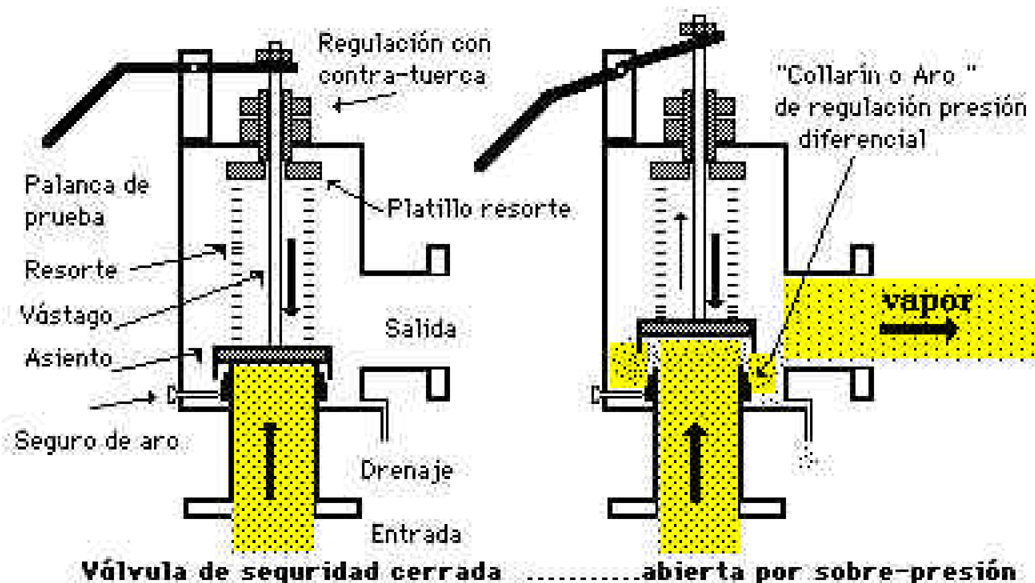
Es preferible abrir los controles de nivel cada pocos meses si se sospecha el asentamiento de barros (a pesar que se purguen cada 4 horas de marcha), **para limpiar estos** (generalmente cuando no se utiliza ablandador de agua, hay muchos barros en el agua de caldera).

**HOGAR DE CALDERA APLASTADO POR BAJO NIVEL**

Por fallas de corte de los niveles automáticos, el quemador no apagó al producirse el bajo nivel de agua

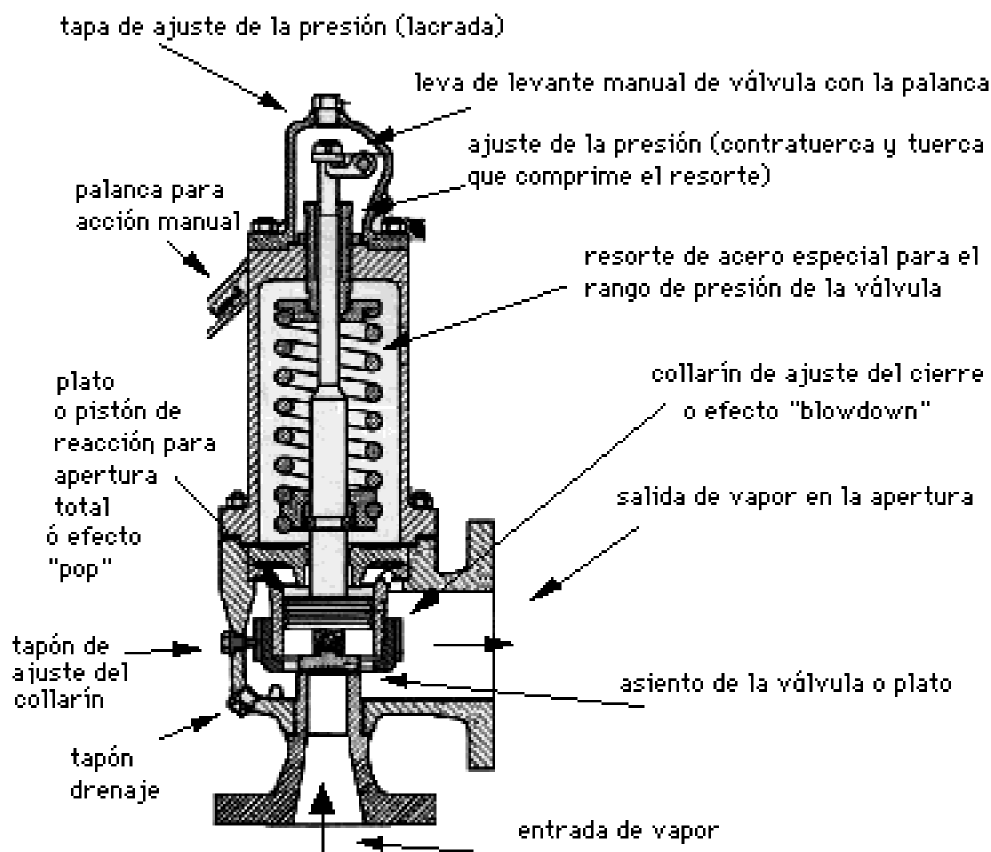


# Válvulas de seguridad




**Válvula de seguridad cerrada ...........abierta por sobre-presión**

Las válvulas de seguridad van instaladas en la parte superior de la cámara de vapor (saturado) y en la salida del vapor sobrecalentado. **Su función es limitar la presión a un máximo en el interior de la caldera** (esta presión es la máxima presión de trabajo admisible, se llama presión de "timbre") descargando el exceso de vapor a la atmósfera. La caldera puede subir su presión si el quemador no es apagado a tiempo (si es manual) o se descompone el automático que lo controla (presóstato) cuando se llega a la presión máxima (de corte). **No confundir las válvulas de seguridad de calderas con las válvulas de alivio para vapor, gases o líquidos**, ya que las válvulas de seguridad de calderas tienen notorias diferencias con estas válvulas: **son de apertura total** (ó efecto "pop"-como sacar un corcho de botella- es necesario debido a que la caldera genera una presión interna), tienen un dispositivo regulable que permite que la **presión de cierre sea menor que la de apertura** (diferencial de presión-"blowdown"- generalmente regulable con un collarín en el asiento) y **tienen una "palanca" que permite su prueba** (apertura sin llegar a la presión de regulación para mantener los mecanismos "libres " o que no se "engripen"), accionándolas periódicamente (semanalmente). Los resortes deberán estar dentro del rango de trabajo previsto. Su capacidad sumadas (Kg. vapor/hora) será la calculada según las normas utilizadas (no menos que todo el vapor capaz de producir la caldera en cualquier condición, aún con el quemador al máximo. Generalmente son dos válvulas ( salvo calderas muy pequeñas), o más.

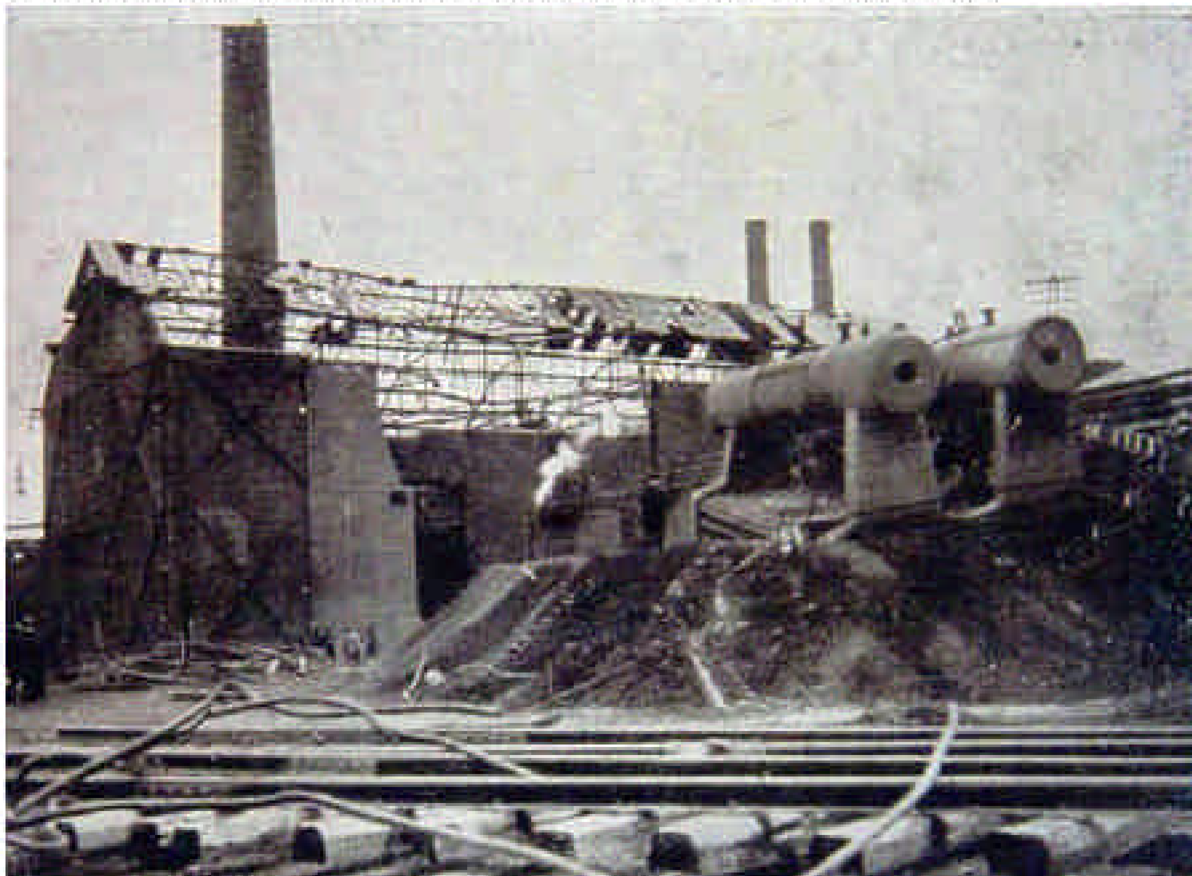



## VÁLVULA DE SEGURIDAD DE CALDERA

**Para ajustar la presión de apertura de las válvulas de seguridad, generalmente tienen una tuerca** (con contra-tuerca ) que ajusta un resorte que empuja al "platillo" de asiento. A mayor presión sobre el asiento, más alta será la presión de apertura. Estas válvulas primero se pueden ajustar con una bomba de mano para pruebas hidráulicas, pero luego deben de ser reajustadas en la caldera (ya que el ajuste puede correrse por la temperatura a que está sometida). Al hacer este ajuste de las válvulas, se debe cuidar de no pasar la presión de la caldera por encima de la máxima admitida ("timbre") y no dejando que suba la presión más del 6% sobre la presión de trabajo máxima admitida (una vez que las válvulas estén abiertas y la vaporización al máximo). La presión de cierre se regula de acuerdo al tipo de caldera y combustible (aprox. de 1% al 6% por debajo de la presión de apertura). **La descarga** debe ir a la atmósfera por una **cañería firme**, del diámetro adecuado (preferentemente separadas de otras descargas y de si mismas) y que el vapor no "queme" a nada ni a nadie (las descargas son muy violentas !!!). Normalmente el mínimo de válvulas son 2 y deben abrir a presiones distintas (para evitar un exceso de descompresión y pérdida vapor muchas veces innecesarias). Ver al final.

**Nunca elimine o trabaje sin válvulas de seguridad: es el único mecanismo de protección a la sobre-presión del vapor en la caldera en caso que fallen los presóstatos o la vigilancia del "foguista".**

EXPLOSION DE CALDERA POR ALTA PRESION

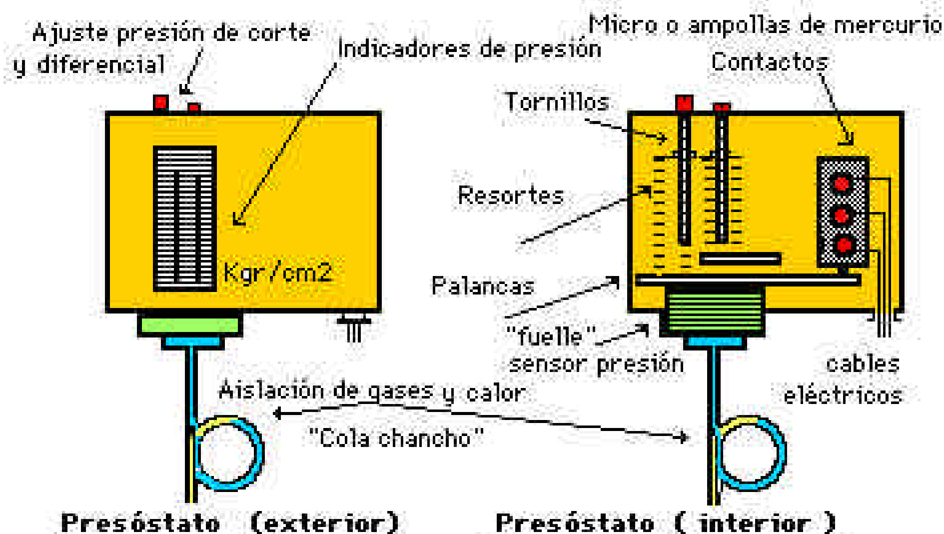


# Presóstatos

Estos elementos **son controladores de la presión del vapor** y efectúan la **parada o puesta en funcionamiento del quemador**. Se conectan igual que los manómetros de la caldera y están compuestos por un elemento sensible a la presión ( fuelle de bronce especial o acero inoxidable, comprimido por resortes con la fuerza regulable por medio de tuercas y tornillos, un sistema de palancas accionan contactos eléctricos ), que se puede regular su accionamiento sobre unos contactos, de manera que un contacto pueda "abrir" a una determinada presión ( corte por alta presión) y pueda "cerrar" a una presión más baja (puesta en funcionamiento del quemador). La diferencia entre la presión alta (corte) y la presión más baja (arranque) es regulable (se llama "diferencial"), de manera de poder hacer que una caldera arranque a una determinada presión y apague a otra más alta. Estos elementos deben ir conectados sin válvulas y por medio de aisladores de gases y temperatura del vapor ("colas de chancho", cámaras o "tubos U" ) para evitar la corrosión y debilitamiento de los fuelles (por temperatura).

Estos presóstatos deben ser ajustados para que actúen a las presiones deseadas de corte (apaga) o arranque (prende). Para ello se debe de ajustar la presión de corte (normalmente) primero y luego se ajusta la presión de arranque (puesta en funcionamiento) ajustando el tornillo del diferencial .

**Nunca haga un "puente" eléctrico para eliminar un presóstato, ya que lo único que podrá limitar la presión serán las válvulas de seguridad.**




**No instale válvulas entre los presóstatos y la caldera**, limpie las conexiones una vez al año : desarmando, pasando aire, agua y "vaqueta" si fuera necesario, no deben de quedar pérdidas de vapor o agua al armar).

Para observar el funcionamiento y el valor de la presiones de **arranque** ("conectar") o **corte** -paro ("desconectar") **fijarse la presión en el manómetro de la caldera en cada caso**, ya que las indicaciones del ajuste de estos presóstatos son indicaciones aproximadas (no exactas).

En las calderas a Leña, los presóstatos operan sobre los forzadores y tiros inducidos de manera de controlar el aire y los gases de combustión (para "apagar" la combustión, se apagan o cierran las entradas de aire - apagando o cerrando los forzadores y tiros inducidos. Esto crea una falta de oxígeno para continuar la combustión, volviéndose a generar al entrar nuevamente el aire al quedar la leña en forma incandescente entre las cenizas: carbones ) .

Hay **presóstatos** (modulantes) que en vez de contactos tienen una resistencia eléctrica variable, que permite **comandar un motor "modulante"** (que en vez de apagar y prender, se mueve de "cerrado" a todo "abierto" en forma lenta y se detiene en el punto de presión de ajustado). De esta manera podemos comandar un quemador en forma continua (sea de leña, F.Oíl o Gas): éste es el método ideal de comando.

Las calderas podrán **tener más de un presóstatos**, ya que puede haber un presóstatos "**extra**" **de sobre-presión** (que en caso de falla del primero, produce el corte a una presión más alta con corte del quemador, con alarma y **rearme manual. El rearme manual es muy importante, ya que pone sobre-aviso al foguista que está fallando el presóstato de corte por alta presión, ya que el operador deberá hacer el rearme manual, siendo aconsejable cambiar el presóstato de corte por alta presión, ya que volverá a fallar, siempre que no haya sido otra la causa de la muy-muy altra presión, peron antes de que funcionen las válvulas de seguridad**),. **Podrán haber dos presóstatos**, uno de arranque y parada, **un segundo** para hacer funcionar un quemador con una llama de "alta" (semi-modulación , 2 llamas : baja - alta ) o de **modulación total**.

Un **tercer presóstatos** para una tercer llama (semi-modulación, 3 llamas: baja, media-alta , buscando aproximarse a una modulación continua).

El **ideal de funcionamiento** de una caldera es **mantener la presión lo más cerca posible** del valor deseado de trabajo y que **el quemador se mantenga prendido** ajustándose a las necesidades de mantener dicha presión (que variará de acuerdo a los consumos de vapor , **esto se llama: modulación continua,** hace que la economía o eficiencia de la caldera sea más alta que si el quemador prende y apaga ).

# Tapones fusibles

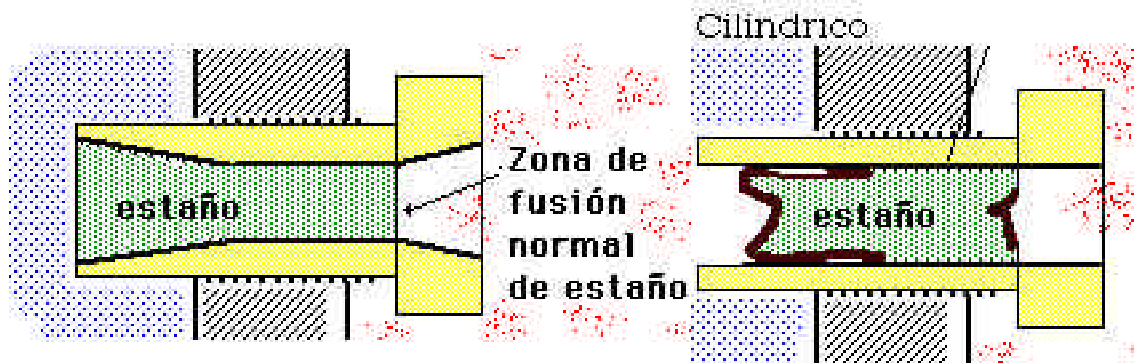
Los tapones fusibles (que se funden con el calor) se requieren como norma en calderas de baja presión (generalmente humo-tubulares), siendo elementos que tienen la forma de tapón (de aleación de cobre) con rosca y un agujero central relleno de un material fusible a una determinada temperatura (generalmente estaño puro, que funde próximo a los 230ºC, pudiendo haber aleaciones especiales en algunos casos). Estos tapones fusibles van roscados sobre zonas (placas o envueltas) debajo del nivel de agua de la caldera , que sobrecalentarán al bajar el nivel de agua, fundiendo el centro del tapón y provocando el escape de la presión del vapor (en el interior del pasaje de gases o en algunos casos al exterior)

Se deben cambiar cada vez que pierdan, se fundan, se haga una limpieza química o dos veces al año como rutina. No trate de rellenar por su cuenta un tapón fundido o sustituirlo con un tapón ciego: los tapones a reponer deben ser siempre originales (suministrados por el fabricante de la caldera).



**Tapones fusibles : Roscado lado agua-Roscado lado gases**

En el caso de encontrarse con una caldera que tiene el tapón fusible "fundido" , se debe **hacer una correcta inspección para observar si no ha habido un sobrecalentamiento** (pérdidas de tubos, placas fuera de línea, hogares deformados, etc.) y haga una prueba hidráulica adicional luego de poner el tapón fusible. De lo contrario se corre el riesgo de tener un accidente, ya que el tapón fusible fundido es una indicación de que ha ocurrido una pérdida de nivel de agua. Puede que una mala confección del tapón fusible haga que se funda con el tiempo (**falta de conicidad**, estaño contaminado, falta de limpieza al fundir el tapón: al rellenar), etc..




TAPONES FUSIBLE DEFECTUOSOS

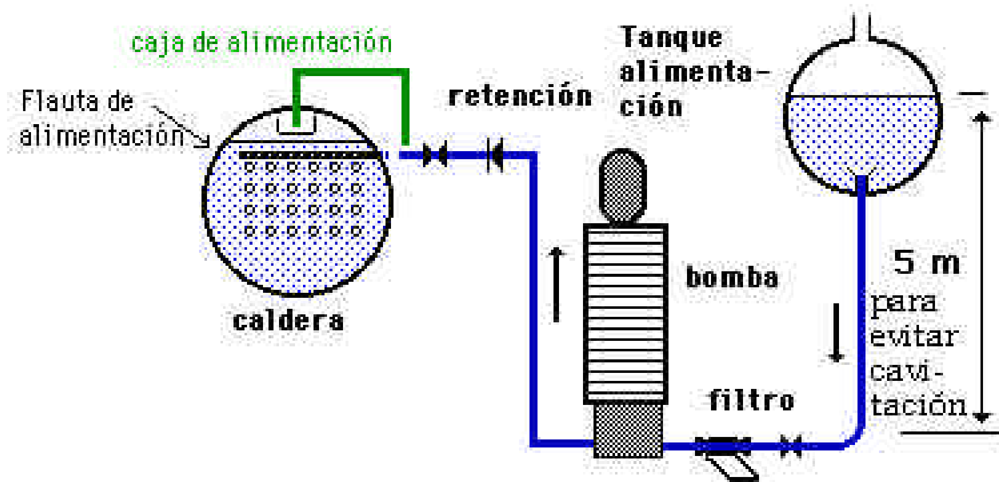


DISTINTAS FALLAS DE TAPONES FUSIBLES

# La bomba de alimentación de agua

Las bombas de alimentación de agua cumplen con la función de hacer "penetrar" el agua de alimentación al interior de la caldera que se encuentra con presión (alimentar el agua que se evapora manteniendo el nivel de agua de la caldera). El agua de alimentación en **la bomba** es sometida a una acción que **aumenta la presión por "encima" de la presión de la caldera**, venciendo la "válvula de retención" (esta válvula permite el paso del agua en un sólo sentido, de manera que la caldera no se "descarga" al estar la bomba parada o al ser menor su presión), al "rozamiento" (pérdidas "de carga" o de presión) de las cañerías y a la presión interna, entrando a la caldera. Las bombas toman el agua del "tanque de alimentación", este tanque debe estar elevado por encima de la bomba de alimentación en no menos de 3 metros (ideal 5 metros) para lograr que la bomba se encuentre alimentada con la presión de una columna de agua que evite la "**cavitación**" **de la bomba** (la bomba deja de "tirar", se producen "burbujas" o "tapones" de vapor, debido al "vacío de succión" se acerca al punto de ebullición, este problema aumenta al subir la temperatura del agua). El agua de alimentación se calienta por ser una mezcla de condensados (calientes a 100ºC en muchos casos) y agua de reposición fría. Si el agua de alimentación es fría, es conveniente calentarla si es posible a más de 80ºC, para evitar "choques" térmicos con el agua del interior de la caldera que se encuentra a más de 100ºC (dependiendo de cada presión de trabajo) y para desalojar el máximo de gases disueltos en

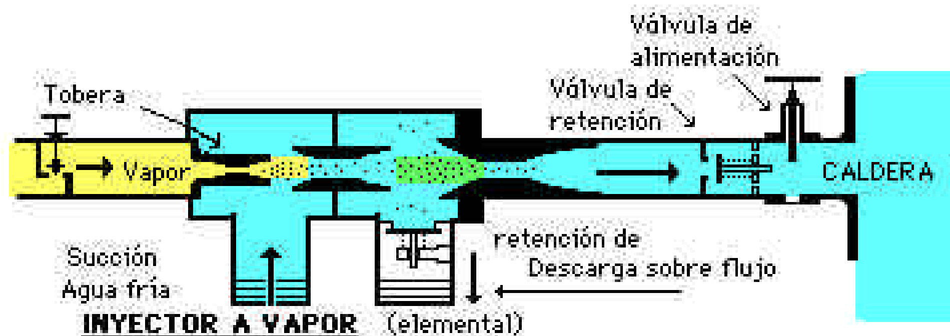
la misma. Además la caldera también responderá mejor al ser alimentada con agua caliente (ya que el agua caliente necesitará menos calor para llegar a la temperatura de vaporización más el calor de la vaporización, que entre ambas es la suma de los dos calores: sensible y latente).




**La alimentación de agua** podrá hacerse en forma continua: **regulando la válvula de entrada** a la caldera (abriendo o cerrando suavemente a la necesidad de demanda: **modulando** ) en forma **manual o automática**. O podrá hacerse en forma discontinua: **apagando y prendiendo la bomba de alimentación** (en forma manual o generalmente automática: On- Off : Prende-apaga).

Hay varios tipos de bombas de alimentación, no sólo por la forma de "levantar" la presión, sino por el tipo de energía utilizada para su funcionamiento. Por eso nos encontraremos que no todos los tipos de bombas de alimentación son adecuados para una alimentación continua (que es la ideal).

**Tipos de alimentación**: por medio de **inyector de vapor** (aprovecha la energía del vapor de la misma caldera para impulsar el agua fría de alimentación por medio de una tobera y un difusor. El vapor al condensarse aumenta su velocidad "empujando" al agua fría, aumentando su presión que vence la retención cerrada por la presión de la caldera). Su funcionamiento es continuo, regulando la entrada de vapor "vivo" al inyector se regula en algo su capacidad. Se le utiliza normalmente como alimentación auxiliar (especialmente en las calderas a leña cuando falta electricidad por corte de suministro eléctrico, de manera que la caldera no quede con bajo nivel).




Dentro de las bombas accionadas a vapor, tendremos varios tipos:

Bomba impulsada a vapor (turbinas de vapor o alternativa de vapor: "burritos"), podrán ser **bombas de émbolos** (alternativas ) o del tipo de **bomba centrífuga** (con deslizamiento o "regenerativas") movidas por turbinas a vapor. Regulando la velocidad de la alternativa de vapor se puede regular el caudal del agua y en en las de turbinas de vapor se puede regular con la válvula de descarga de la bomba (ya que son centrífugas de deslizamiento cuyas revoluciones se mantienen constantes).

Las **bombas accionadas eléctricamente** son las más comunes. Tendremos **bombas de émbolos** (pocos comunes), **centrífugas** del tipo de "deslizamiento" o del tipo "regenerativas" (desplazamiento semi-positivo).

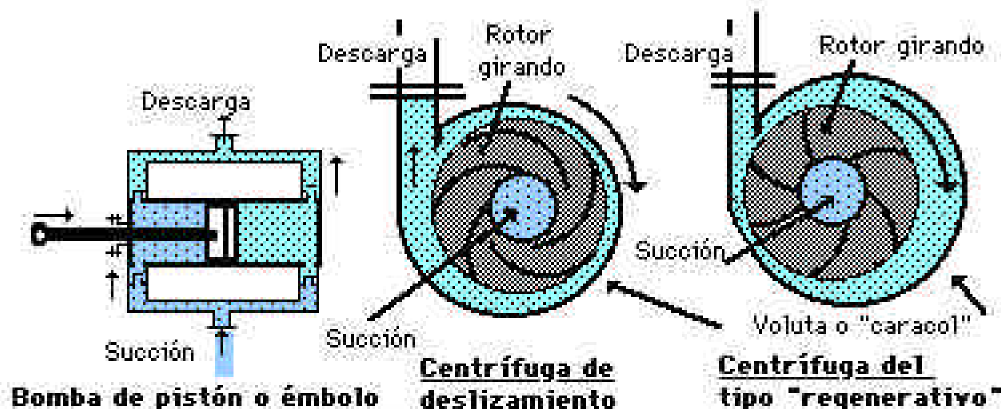
Las bombas de émbolo y algunas centrifugas "regenerativas" sólo podrán funcionar en forma de prender y apagar (On-Off). De lo contrario su presión subiría a valores que pararían el motor o su consumo sería muy alto (salvo que se ponga un sistema de "alivio" o retorno regulado).

En las bombas centrifugas de " deslizamiento" se podrá funcionar en forma de prender o apagar (On-Off) o regulando con la válvula de alimentación en forma manual o automática (ya que estas bombas consumen menos energía al cerrarse su descarga, aún aumentando su presión).

Las bombas centrifugas funcionan basándose en la fuerza centrífuga (la fuerza que tiende a separar un cuerpo de su eje de giro, ejemplo : la boleadora de los gauchos o la honda de David). Como a cada diámetro de la bomba y a determinada velocidad de giro ( R.P.M.-revoluciones por minuto) le corresponde una determinada presión, se ponen varias etapas para aumentar la presión total que se quiera lograr.

La diferencia entre una bomba de "deslizamiento" y una "regenerativa", estriba en general en que la bomba de "deslizamiento" al cerrar la válvula de descarga disminuye el consumo de energía del motor que la mueve y la bomba "regenerativa" la energía aumenta (son similares a las bombas de desplazamiento "positivo": engranajes, una bomba de engranajes al cerrar su descarga la presión aumenta hasta valores tan altos que pueden romper la cañería de descarga o parar el motor).

La ventaja de la bomba regenerativa en algunos casos se debe a que se puede levantar más altas presiones con menos etapas y que tienen en otros casos buenas características de succión (poca posibilidad de cavitación), pero en general son de mal rendimiento (consumen más energía que la necesaria).....................................



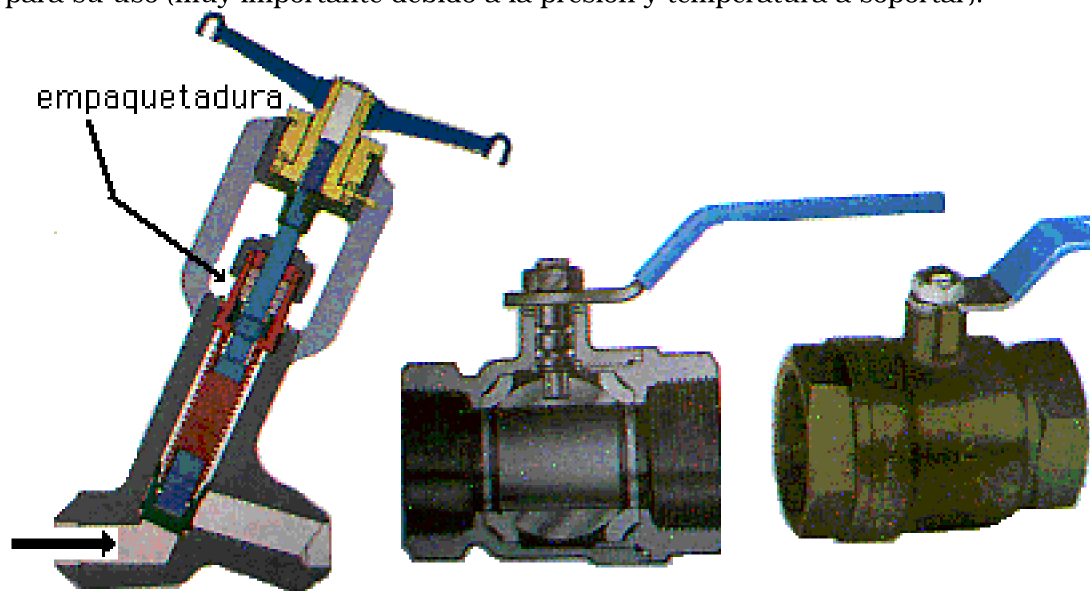

En las **bombas centrifugas** el rotor (impulsor o rodete) esta formado por **discos** simples (rotor abierto) o dobles (rotor cerrado) que contienen los **álabes** (nervaduras curvas que impulsan el agua al girar el rodete). Este **rotor** se encuentra en el interior de una **voluta** (caracol o cuerpo de la bomba) que encierra el agua "girando" y que de acuerdo a su forma "toma" esa corriente de agua girando y la desvía a la tubería de salida, aumentando con ello su presión (en base a la energía que ha tomado del rodete). En todas las bombas la succión ocurre debido a que el agua que se desplaza por la descarga deja un lugar "libre" que tiende a ser ocupado por el agua de la cañería de succión "empujada" por la presión atmosférica (que actúa sobre la superficie libre del tanque o pozo). Por eso la succión de una bomba con agua fría pueda ser tomada de una profundidad de aproximadamente de 7 metros (recordemos que la presión atmosférica es de 10,033 metros de columna de agua al nivel del mar), pero debido a la presión del vapor del agua (que varía con la temperatura) y a las pérdidas por rozamiento en las cañerías, esta succión será menor que la presión atmosférica. Las bombas de alimentación por bombear agua caliente deben ser alimentadas con presión positiva (por encima de la atmosférica o sea el tanque por encima de la bomba) y no como en el caso del agua fría que puede "succionar" por debajo de la bomba (presión por debajo de la atmosférica, manométrica negativa).

En el dibujo superior (muy elemental) se trata de ver la diferencia entre la bomba centrifuga de deslizamiento y la "regenerativa", notase que en esta última los álabes hacia adelante del rodete "empujan" el agua hacia la salida, lo cual hace que al cerrar la descarga la presión sube aumentando la energía necesaria de impulsión. En el caso de las de deslizamiento los álabes curvos hacia atrás tienden a "deslizar" al cerrar la descarga y como disminuye el volumen de agua (no así la presión), el consumo de energía disminuye (pudiéndose y debiéndose arrancar la bomba con la descarga cerrada para disminuir la fuerza necesaria de arranque).

De las bombas centrifugas debemos comentar que la presión depende de la velocidad de giro del rotor (R.P.M.- revoluciones por minuto) y de su diámetro, del número de rotores en serie (etapas) y que el volumen de agua de cada bomba depende de la presión de descarga y succión (curva de presión contra volumen). A ésto debemos agregar que el eje del rodete debe ser sellado para que no entre aire a la succión o pierda agua. Este sellado podrá ser por "**empaquetadura**" (cordones de material prensado en un "**prensa estopa**": algodón, asbesto, teflón, etc.) que debe ser ajustada periódicamente (o cambiado y que debe de perder una gota de agua cada tanto para lubricación) o un **sello mecánico** (un aro de material duro: acero inoxidable cerámica, etc. que apoya contra un material blando y de baja fricción: carbón, teflón grafitado, etc.) con la gran ventaja de no necesitar mantenimiento (solo cambio en largos períodos) y que producen un sellado muy bueno (se lubrica y se refrigera con la misma agua que impulsa).

# Válvulas

Las válvulas son elementos para la apertura o cierre a la circulación de un fluido (agua, vapor, etc.) en una cañería. Hay varios tipos de válvulas: de **globo** (platillo), de **esclusa** (cuña), **esférica** (o de bola), de **aguja** (una aguja en un orificio), **grifo** de cono o cilíndrico, de **pistón, etc**. Todas tienen distintas cualidades para su uso: las de globo permiten regular el caudal sin sufrir grandes desgastes, las de esclusa y esféricas pueden ser de "pase total" (no restringen el pasaje - no deben usarse para regular), las esféricas, las de pistón y grifos pueden ser válvulas rápidas (de cierre y apertura rápida) y las de aguja permiten regulación muy "fina". Los asientos podrán ser de material duro (acero, acero al cromo-niquel, etc) o materiales blandos (como bronces, teflón, "micarta", etc.) o combinados, siendo algunos cambiables (los blandos) o rectificables (los duros). Los cuerpos de las válvulas son de materiales como el acero fundido, aceros aleados, la fundición gris, bronces, etc..(de acuerdo a su utilización), por lo que hay una clasificación que respetar para su uso (muy importante debido a la presión y temperatura a soportar).




válvula de tipo Y
acero forjado,
asiento cromo-niquel

Grifos o
válvulas esféricas pase total
acero forjado o inoxidable

Las válvulas para ser usadas en **vapor** tienen una clasificación ("Serie" 150,300,400,600 ,etc) que **indica hasta que presión y temperatura pueden ser usadas.** (Una clasificación similar se usa para las cañerías: el "Schedule", 20, 40, 80, etc., indicando el espesor de la pared de los tubos o caños).

Las válvulas de purgas podrán ser de a dos (es conveniente por seguridad ), una contra la caldera del tipo lento y otra más exterior del tipo rápido (ambas de pase total) . La maniobra debe de ser efectuada de manera de abrir primero y cerrar último la válvula contra la caldera - abriendo la válvula exterior despacio al principio (para calentar la cañería y luego rápido para arrastrar los barros).

Las válvulas deben operarse con mucho cuidado cuando se encuentran sometidas a

presión con vapor o agua caliente y las de purga con más razón (por permitir el vaciado de la caldera frente a una rotura o falta de cierre).

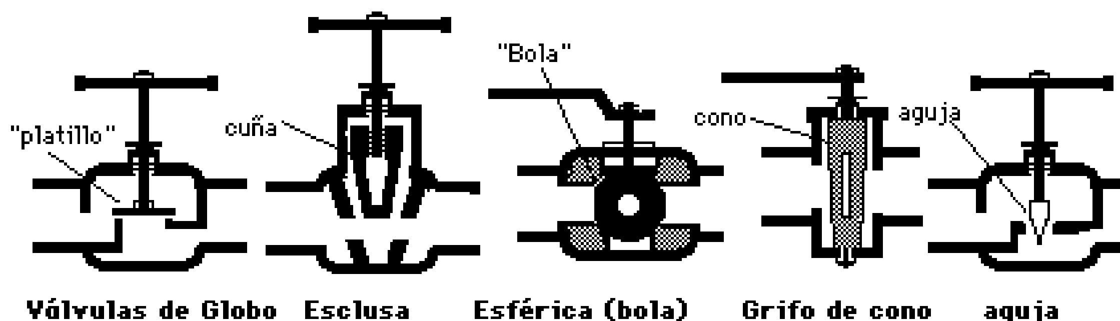
Las válvulas de vapor deben ser abiertas suavemente, calentando las cañerías para evitar los "golpes de ariete" (y mezclas de agua fría y vapor que condensa violentamente proyectando el agua a altas velocidades contra las tuberías) así como la dilatación de las cañerías (1 mm. por cada metro y cada 100ºC). Pero deben ser abiertas totalmente (para evitar el "rayado" del asiento por el vapor, salvo que sean válvulas para regulación de asientos especiales: por la forma y el material, siendo más aptas para regulación las del tipo globo. No se debe sustituir una válvula de un tipo por la de otro tipo sin antes razonar el motivo de la elección de la válvula, ya que una válvula de pase total se interpreta que se ha instalado para cierre y apertura total (sin casi pérdidas de presión) y al ser sustituidas por una de globo (de pase restringido) puede generar una pérdida de presión que perjudique el funcionamiento, etc.(por lo mismo, respetar la clasificación de "Serie").

Las cañerías van conectadas por medio de piezas ("fittings") del mismo material y válvulas, estas uniones podrán ser roscadas , soldadas o platinadas.

Las roscas deberán ser "selladas" con material de acuerdo a la temperatura y presión en que trabajan ( cuando hay temperatura : teflón en cinta o pasta o una pasta "casera": minio, grafito y aceite de linaza muy cocido, litargirio y glicerina (en combustibles livianos, algunos gases, etc), o en aguas frías con "filástica"-cáñamo- con base de pinturas , etc.).

Las **platinas** irán con juntas adecuadas a la presión y temperatura ("Klinger", amiantos, metales con formas especiales, grafitos, etc.), con ayuda de grafito (escama) con grasas o aceites (tanto en las caras como en las roscas de los tornillos de las platinas, que deben apretarse en forma "pareja).

Ver capitulo de juntas y empaquetaduras más adelante.

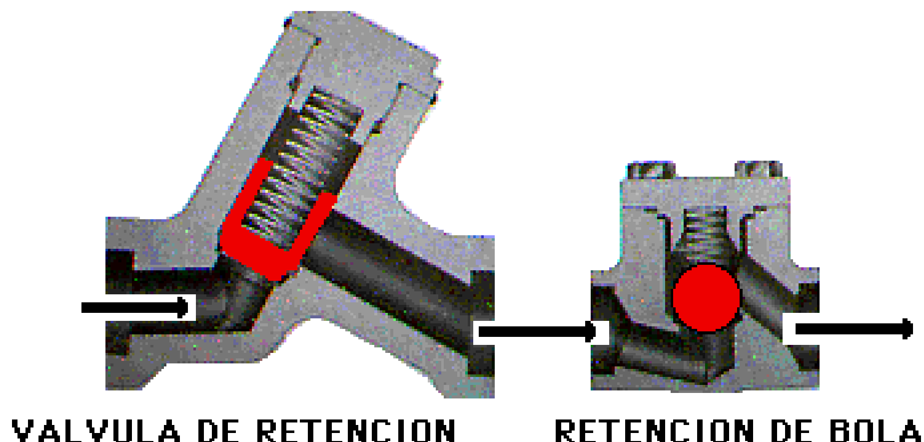



Válvulas de Globo Esclusa Esférica (bola) Grifo de cono aguja

Las **válvulas de retención** se utilizan para obligar el flujo en un solo sentido.

Se pueden dividir en: tipo **axial** (vertical , de alzada axial con guía) o del tipo **oscilante** (o a "clapeta" , que puede ser a 90º o a 45º). Las oscilantes tienen menos pérdidas de carga y las de 45º son ideales para el flujo de vapor y condensado (que tienen rápida necesidad de aperturas y cierres). Son válidas los comentarios sobre materiales para las válvulas y su clasificación"Serie". Las **retenciones de esfera o "bola"** tienen buen comportamiento como válvulas de retención para alimentación de calderas.

Cuando se instalan más de una caldera en paralelo, se ponen válvulas de retención a la salida de vapor de cada caldera (de manera de no presurizar la caldera con menor presión con la de presión más alta - es importante que así sea, no sólo por razones mecánicas o seguridad, sino por razones químicas, se producen corrosiones).




# 5- EL FUNCIONAMIENTO

Veremos el funcionamiento de la caldera en forma normal y luego trataremos las emergencias y cuidados.

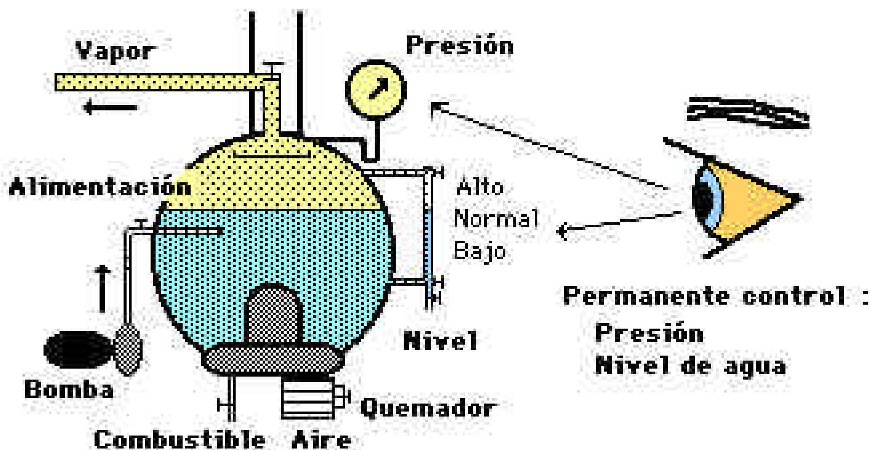
Hemos visto que el funcionamiento de la caldera de vapor se resume en:

**1-Mantener una determinada presión de vapor** (que corresponde a una temperatura única de vapor saturado), esta presión depende de la "**demanda**" o consumo de **vapor** y de la cantidad de "fuego" o **combustible quemado en el momento** (como el consumo no lo determina ni el foguista ni la caldera, sino que el proceso o lugar donde se utiliza el vapor, **la presión será mantenida en base a la cantidad de "fuego" o combustión**). Este **equilibrio** entre la cantidad de **energía entregada** por la caldera en el vapor y la cantidad de **energía que entrega la combustión** podrá ser **mantenida** en forma **manual o automática** (regulando el **combustible y el aire**: Modulación continua o prendiendo y apagando el quemador:"Todo-Nada" ("On - OFF"), o **regulando el aire solo** : Leña). La diferencia entre estas dos energías (vapor y combustión) son las pérdidas de la caldera (pérdidas en el calor de los gases de chimenea, pérdidas de calor de la caldera en sí a la sala de calderas, pérdidas de agua y vapor en la caldera, purgas).

2- **Mantener un determinado nivel de agua** (que cubre las superficies de transferencias térmicas, pero que tampoco ocupe la cámara de vapor, corriendo el riesgo que el agua sea trasladada con el vapor: espumas, "priming", "arrastres", etc). Este nivel de agua (con un nivel mínimo, normal y alto) **podrá ser mantenido** en forma **manual o automática**, regulando la entrada de agua de alimentación**.** (Este nivel depende o tiende a ser variado por la "demanda" o consumo de vapor, debido a la necesidad de evaporar mayor o menor cantidad de agua, y de la reposición del agua de alimentación para reponer el agua evaporada). La regulación del agua de alimentación podrá ser: prendiendo y apagando la bomba de alimentación ("Todo o Nada" o sea "On - OFF"), o regulando la válvula de entrada o la presión de la alimentación (modulación continua). El nivel podrá variar **circunstancialmente debido a alteraciones momentáneas en las condiciones internas de la caldera** (cuando se prende la caldera fría tiende a subir el nivel al calentar el agua; cuando hay un aumento o disminución rápida del consumo de vapor, el agua en el primer caso sube en forma "aparente" y en el segundo baja el nivel. Determinadas condiciones químicas hacen que el nivel varíe. En todos estos casos se debe proceder con cautela, ya que son condiciones momentáneas, que no siempre deben ser corregidas, ya que un nivel bajo momentáneo puede pasar a ser un nivel alto al instante siguiente).

**El foguista deberá estar atento a la presión y al nivel del agua, ya que son las dos variantes necesarias para operar la caldera, aún siendo automática y esto será lo primero a observar al efectuar un control.**

**El equilibrio entre la cantidad de vapor y la cantidad de combustión necesaria se controla por la presión. El equilibrio entre cantidad de vapor y la cantidad de agua de alimentación necesaria se controla por medio del nivel del agua .**




**La vigilancia permanente de la presión y del nivel del agua son las dos cosas fundamentales para controlar una caldera.**

Si no controlamos la presión (ajustando la cantidad de combustión), la calidad del vapor (temperatura y humedad) no sería la adecuada para el proceso y la seguridad (al subir la presión dependeremos de los elementos de seguridad: **válvulas de seguridad**). Si no controlamos el nivel del agua podemos "quemar" la caldera por bajo nivel (recalentamiento de las superficies de transferencias térmicas o rotura con "explosión" de la misma), o podemos producir un vapor húmedo por alto nivel (e inclusive arrastres de agua con golpes de "ariete" que pueden producir roturas de equipos).

La **calidad de la combustión** debe ser controlada permanentemente, observando el **aspecto y color de la llama, además la presencia y el color de los humos** (o monitoreando la relación aire combustible con la lectura del exceso de aire a mantener por medio de instrumentos que midan el oxígeno o anhídrido carbónico en los gases de chimenea, evitando la presencia de monóxido de carbono, humos ó un exceso de aire que provoque mayores pérdidas en los gases de chimenea).

Mantenida la presión y el nivel constante, debemos de preocuparnos por mantener las **condiciones del agua de alimentación y del interior de la caldera**. Para ello se controlarán los equipos "intercambiadores iónicos" (ablandadores o suavizadores y desmineralizadores) tomando **muestras periódicamente**, para controlar la calidad del agua (Dureza Total en los ablandadores y Conductividad del agua en los desmineralizadores, etc.). Se ha de mantener la temperatura del agua de alimentación a un valor prefijado (lo más alto posible de acuerdo al sistema de alimentación) y cuidar los productos químicos que deban ser introducidos en el agua (la cantidad y la forma de ponerlos: continuo o discontinuo, etc.).

El **agua de la caldera controlada por análisis** debe ser mantenida en determinados valores (Límites), no solo variando los productos químicos a poner, sino regulando la cantidad de **purgas a efectuar, de fondo y continua** (los controles de nivel deben ser purgados cada 4 horas por razones de seguridad, controlando el corte y alarma por bajo nivel, abriendo bien las purgas).

Como hemos visto, de la caldera debemos de extraer las **sales disueltas (T.S.D.) y los "barros"** (sales y elementos insolubles, formados a propósito o por las reacciones químicas naturales, según la calidad del agua a reponer, óxidos de las cañerías, etc.) . Las **purgas de fondo** (sacan los barros y las sales disueltas) sería conveniente que se ejecutarán **no menos de una vez por turno y tantas veces como fuera necesario según el tratamiento y tipo de agua de reposición,** abriendo bien las válvulas en un momento de mínima producción de vapor o mejor con la caldera apagada., ya que los barros tenderán a asentarse, haciendo bajar el nivel de uno a tres centímetros, según la caldera, repetir la purga si fuera necesario, una vez recuperado el nivel. **Con la caldera prendida: nunca purgar colectores de paredes de agua.**

**Comprobar el buen funcionamiento de la extracción producida por las purgas**, por el ruido producido por el flujo de agua y vapor de flash que se produce, de los contrario, podría la purga estar bloqueada por elementos o precipitados (pueden ser elementos que han caído en el interior de la caldera en su reparación o inspección, o simplemente cáscaras de incrustaciones sueltas que quedan trancadas en las válvulas o en la cañería; en el caso de la purga de fondo se puede comprobar la bajada del nivel de agua, no así en las purgas de los controles de nivel). La falla de la purga de fondo o de nivel, puede traer consecuencias graves a la circulación interna de la caldera (recalentamiento) o al bloqueo de los controles de nivel (falla por bajo nivel de agua).

**La purga continua debe ser abierta según lo indique la necesidad** (saca las sales disueltas, afecta al T.S.D.), y generalmente se sacan fracciones o litros por minuto, controlándose con una medida. (una jarra graduada o "tarro" en determinado tiempo, que se ajustará cada turno). Puede haber momentos en que sea necesario purgar debido a observaciones (**niveles fluctuando en demasía**: se puede deber a falta de purga o a contaminaciones del agua de la caldera, exceso de tratamientos en forma masiva, etc.). En estos caso se debe de purgar de fondo, continuas y los niveles, hasta que pase el "nerviosismo " de los niveles (que también se puede deber a un consumo excesivo o irregular de vapor: en estos casos purgar no es prioritario, pero puede ayudar al bajar los límites químicos del agua y esto disminuye la posibilidad de "arrastres"), aunque conviene cerrar los consumos de vapor no imprescindibles.

Observar el aspecto de los materiales, especialmente en el "hogar" o cámara de combustión, para ver posibles recalentamiento o "escorias " (aglomerados de combustibles no quemados) que puedan afectar la correcta combustión. (Deben ser extraídas o rotas las escorias cada turno ). Purgar los controles de nivel manual de emergencia ( grifos indicadores de nivel) y probar por lo menos una vez por semana las válvulas de seguridad (tirando de las palancas dispuestas para ello).

En quemadores de F.Oíl mantener el sistema del quemador en condiciones, temperaturas y presiones indicadas, limpiar las "pastillas" ("boquillas","toberas") de atomización (o las "copas" en quemadores rotativos) periódicamente, cuidando no agrandar los orificios de los mismos. Hemos visto que si la temperatura del combustible baja, cuesta más bombear el mismo y su atomización es mala (produciendo hollín aún con exceso de aire). Controlar el sistema auxiliar de encendido (supergas de garrafa en la mayoría de los casos, se debe controlar la existencia de gas y la presión regulada al quemador de encendido: llama piloto).

Controlar las pérdidas de agua (empaquetaduras de bombas y de vástagos de válvulas) y vapor. La limpieza de la caldera y de la sala son fundamentales.

# Puesta en marcha de una caldera

Cuando ponemos en marcha una caldera, lo primero es revisar todos aquellos elementos que intervienen en su funcionamiento:

1-Verificar que se encuentre **llena con agua adecuada** (ablandada, tratada químicamente, etc.) hasta casi el nivel normal (1/4 del nivel visual o el corte del automático de la bomba, ya que el nivel aumentará al aumentar la temperatura del agua). Para llenar la caldera cerrar todas las purgas y abrir el grifo atmosférico (purga de aire). Se supone que la válvula principal de vapor (válvula de cuello ) se encuentra cerrada.

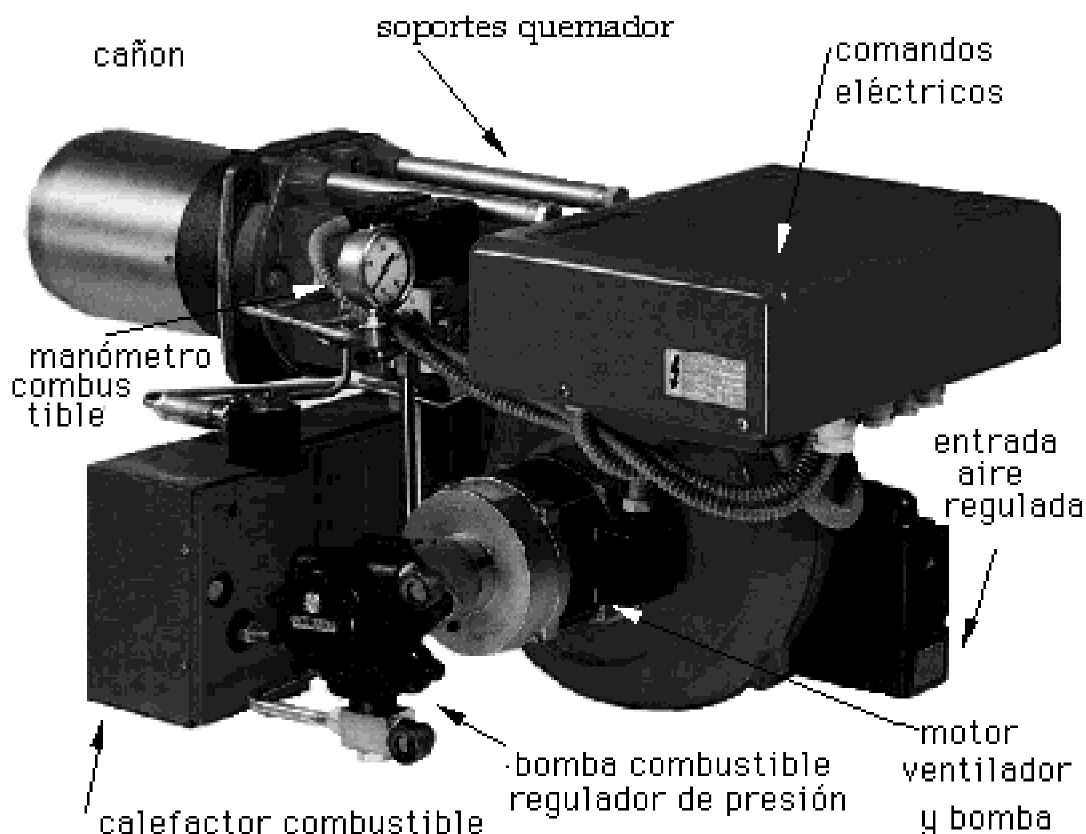
Si la **caldera estuviera en** "**conserva**" por algún método seco, primero se debe **extraer los productos** "**secantes**" de su interior (cal viva,"silicagel", etc. ), poner tapas de visita y hacer una prueba de estanqueidad (hidráulica). Si estuviera **inundada con agua** tratada para un método de conservación húmeda, es suficiente generalmente **bajar el nivel** del agua con las purgas, abriendo el grifo atmosférico para "romper" el vacío (para que entre el aire).

**HOGAR APLASTADO POR APARENTE FALLA DE NIVEL DE AGUA**




**Esta falla del hogar (aplastamiento) ocurre por "falta de enfriamiento", por mala circulación interna del agua debido a distintas causas fisico-químicas .**

2-**Verificar los controles de nivel** (abrir sus purgas y verificar que accione la bomba de alimentación, previo a abrir sus válvulas de succión y descarga, oir y ver señales de bajo nivel ).En algunos casos es necesario efectuar una prueba hidráulica de "estanqueidad" (probar que no haya pérdidas de agua o vapor). Para ello se puede levantar presión de "trabajo" con la misma bomba de alimentación (en forma lenta), sacando el aire por el grifo atmosférico (el grifo atmosférico sirve tanto para sacar el aire y gases, como para evitar que se produzca "vacío" en el interior de la caldera al enfriar o vaciar la misma). Con 10 minutos de presión (todas las válvulas cerradas), observando exterior e interior de la caldera (hogar y cajas de humo) por pérdidas de agua, y que la presión en el manómetro no baje más que muy lentamente (alguna pérdida en empaquetaduras). Luego hacer bajar la presión lentamente (purga) y regular el nivel (purga y grifo atmosférico).




**QUEMADOR DE COMBUSTIBLE LIQUIDO A PRESIÓN MECÁNICA**

3-**En calderas a F.Oíl Pesado ( Nº6)**, verificar el combustible en el tanque de servicio. Se supone que los filtros de F.Oíl se encuentran limpios y armados. Precalentar con calor auxiliar (resistencias eléctricas o vapor auxiliar) hasta una temperatura bombeable (40ºC a 60ºC) y no intentar bombear sin precalentar (se puede sobrecargar las bombas). Luego se calentará hasta la temperatura de atomización, dependiendo esta del tipo de quemador, pudiendo ser: mecánica 120ºC a 145ºC, vapor y copa rotativa de 75ºC a 90ºC, con aire a baja presión 110ºC a 130ºC .(Valores aproximados, referirse al constructor del quemador). Ver calentadores más adelante en esta misma sección dedicada combustibles líquidos.

Hacer circular el F.Oíl en forma lenta (cuidar de no abrir a la atomización) para asegurarse de normalizar la temperatura y presiones del sistema .

Luego, antes de proceder a poner en funcionamiento el quemador, verificar los tiros inducidos (o aperturas de controles en chimeneas de tiro natural), verificar los aires forzados (aire primario y secundarios), abriendo y cerrando sus controles.

**Si el quemador es automático, el hará los siguientes pasos, pero en caso que sea manual , se deberá proceder de la siguiente forma**:

a-**Ningún quemador debe encenderse** (ni su llama piloto) **antes de "ventilar" el hogar (hacer un "barrido" de gases combustibles con aire limpio, de lo contrario puede haber una "explosión de hogar").** Se abre el tiro inducido totalmente y se abre el aire primario y secundario durante unos segundos (90 segundos o más, hasta que se asegure el barrido de gases en el interior de la caldera, por lo menos 4 cambios de aire del volumen de la cámara de gases y el hogar). Luego se cierra el aire primario y secundario a un "mínimo " de arranque y el tiro inducido hasta que la depresión (no siempre se trabaja en depresión: 3 a 5 mm.C.A.: milímetros de columna de agua, muchas calderas trabajan con el hogar "presurizado", con presión en la cámara del hogar, pudiendo la misma llegar a valores bastante altos) en el hogar sea la de marcha (generalmente debemos notar succión en la mirillas o entrada del mechero). Si el mechero es a gas y fijo, prender el mismo, y si es manual y hecho con "estopa", prenderlo afuera e introducirlo por la entrada de encendido hasta el interior del hogar (un poco adelante y al costado del quemador), **observando (de costado) por la mirilla la llama piloto**, abrir muy suavemente la válvula reguladora del F.Oíl hasta obtener una llama pequeña pero estable (hay calderas que deben ser prendidas con combustibles de baja viscosidad: Gas Oíl o F. Oíl Calefacción, para lo que hay que poner primero una "pastilla" o tobera de menor tamaño que la normal, también puede ser necesario algún elemento auxiliar de atomización: aire en vez de vapor). Una vez lograda la estabilidad de la llama (regulando el combustible, el aire forzado y la depresión del hogar hasta que la llama quede de un color rojo claro y no tienda a apagarse o soplarse), la llama piloto se apaga o se retira el mechero (hisopo).

Estando la **caldera caliente** no intente prender el quemador con el calor residual o llamas que queden en los refractarios del hogar (**esto puede ocasionar graves explosiones de hogar**), efectuar la maniobra anterior.

La caldera debe ser calentada lentamente hasta que largue vapor por el grifo atmosférico (salga vapor visible, no aire), ya que un calentamiento rápido puede provocar aflojamientos de tubos en los mandrilados, aflojamiento de material refractario o fisuras en las estructuras de la caldera. Esto se debe a las dilataciones que sufre el material, que debe ser parejo, debido a que el calor tiende a subir (por convección en el agua y el el aire , la parte superior de la caldera estará caliente y la parte inferior estará fría, pudiendo cada metro de caldera dilatar hasta más de 2 mm.).

Se debe **vigilar** muy atentamente que **no se apague esta llama** baja con la caldera fría ( ya que tiene tendencia a ser inestable ).

En los **quemadores automáticos,** el barrido, el encendido de la llama piloto (si es necesaria), **la vigilancia de la llama** (fotocélula: cierra el combustible al detectar la falta de llama evitando que se inunde el hogar con combustible), el control de la **temperatura del combustible**, **se hacen automáticamente** cada vez que se prende el quemador e inclusive no lo deja prender si detecta llama o un calor luminoso en el hogar (o combustible muy frío o en algunos falta de aire). En algunos quemadores se puede seleccionar la llama baja, **conviene calentar la caldera en llama baja**. Hay quemadores que no entrará la llama alta hasta determinado valor de la presión del vapor (permite el calentamiento lento y protege la refrigeración de la placa más caliente en presiones bajas o en consumos altos de vapor que pudieran hacer bajar la presión demasiado).

En los **quemadores automáticos**, el mecanismo que controla las secuencias de barrido, encendido y control de llama, se llama: "programador" (generalmente son electrónicos o eléctricos, pudiendo haber con contactos accionados en forma mecánica por un motor que mueve un eje con levas).

Tanto en los quemadores manuales como automáticos cuando se arrancan, **no** se debe permitir entrar una gran cantidad de combustible sin lograr el encendido. En caso que éste no ocurra (el encendido a los pocos segundos), se debe de cerrar el combustible e intentar nuevamente (**previo barrido** y corrigiendo si es necesario los aires o depresiones del hogar, temperaturas, para evitar el "soplado" de la llama).

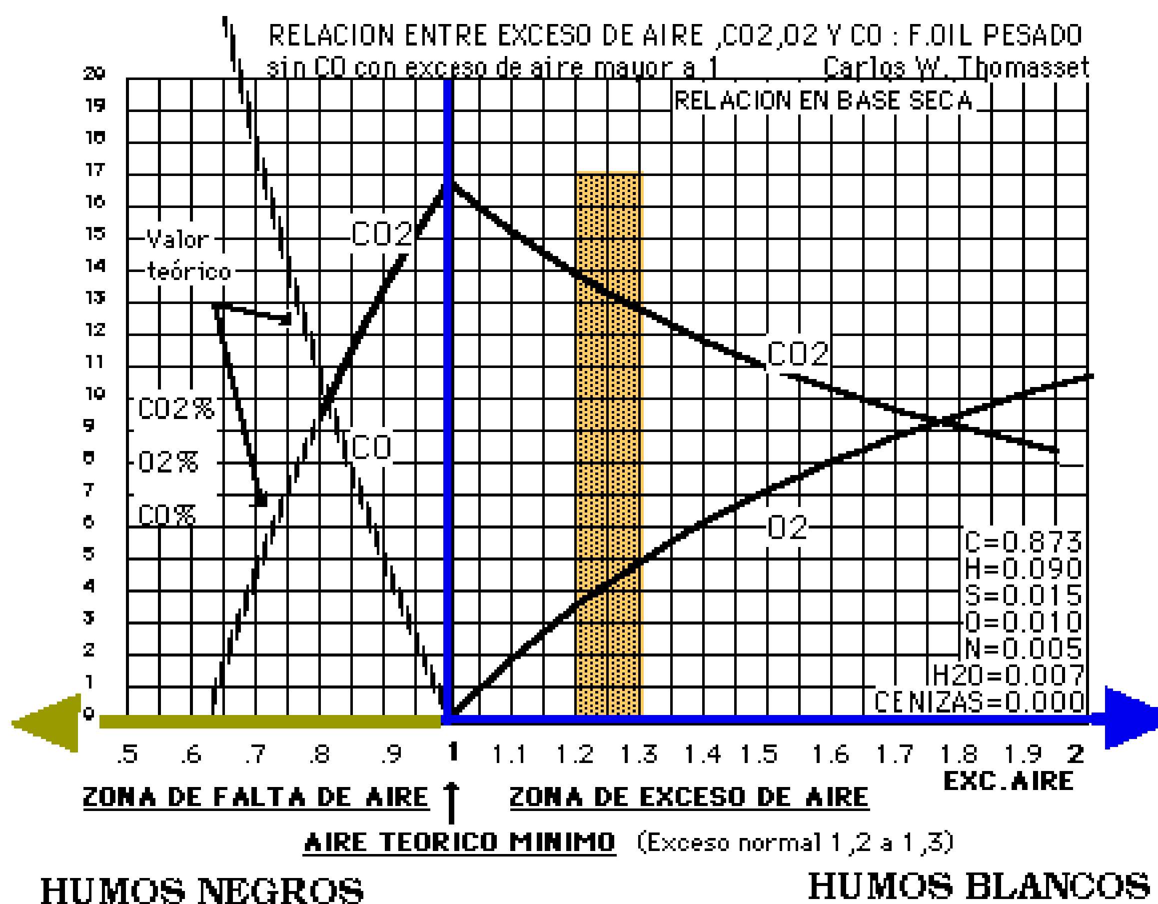
Cuando la presión de vapor llegue a 1 a 2 Kg/cm2 (15 a 30 Lb/Pulg.2), es conveniente accionar las válvulas de fondo, para sacar los barros depositados sobre los fondos y probar el mecanismo de purga de fondo (si las válvulas accionan correctamente y no quedan perdiendo), e ir aumentando la combustión, dando más combustible (presión o pastillas más grandes, según sea el caso) y más aire y tiro. Mantener una llama media hasta lograr la presión de trabajo.

**Probar el corte de quemador desde los niveles** (purgando estos), probar la falta de llama en la célula foto-resistente (quemador automático todos: sacar la fotocélula y taparla de la luz, el quemador deberá apagarse).

Una vez asegurado el sistema y la caldera vaporizando a la presión de trabajo, abrir la válvula de vapor (válvula de suministro de vapor) en forma lenta (muy lenta o abrir un by-pass en el caso de presiones o válvulas grandes) y luego abrir totalmente la válvula (evitando la "horadación": rayado del asiento, debido a la laminación: estrangulación del vapor), **una vez establecido el consumo de vapor habrá que aumentar la alimentación de agua y de combustión de manera de mantener el equilibrio del nivel de agua en el interior de la caldera y la presión de vapor de la misma** (que tenderán variar con el consumo).

Al bajar la presión por mayor consumo de vapor, debemos aumentar la combustión, aumentando la cantidad de aire y combustible en forma relacionada y si la presión de vapor aumenta debemos de bajar el régimen de combustión, bajando el combustible y el aire en la misma relación (relación aire / combustible).

**COMBUSTION DE F.OIL PESADO:MEDIDA GASES CHIMENEA**




## Regulación de la combustión en F.Oíl :

Habíamos visto que para cada Kg. de combustible se debe tener una determinada cantidad mínima de aire (más de 14 Kg. de aire por Kg. de F.Oíl), ya que **necesitamos un exceso de aire** para lograr una buena combustión (libre de humos y hollín). Esto se puede controlar por medio de medidores de la composición de los gases de chimenea, pero desde el punto de vista práctico, esto no alcanza y normalmente no se posee dichos equipos de medición. Por lo tanto debemos de juzgar la combustión en base a nuestra experiencia visual :

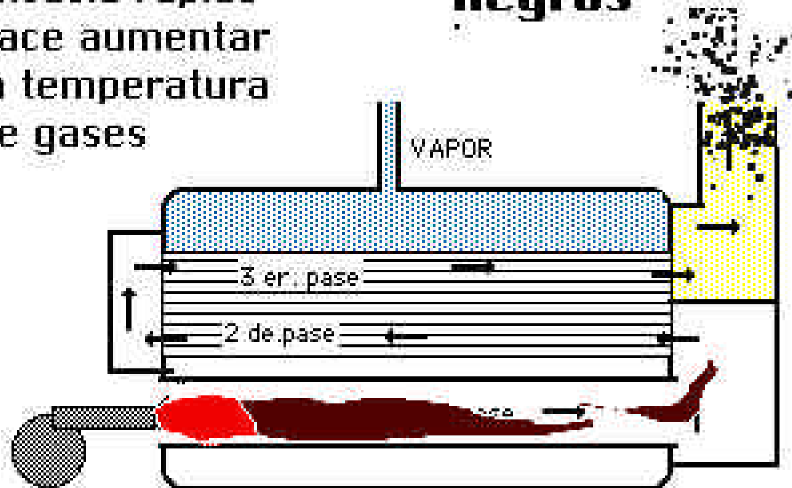
Debemos **observar el color de la llama y su aspecto:** el **color de los gases de chimenea** .

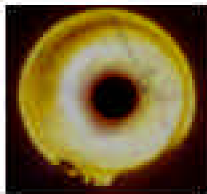
1-**Falta de aire**: la llama rojo oscuro y larga, hay **humos negros** o marrones oscuros en chimenea (el $CO_2$ es más del 14% y el $O_2$ menos de 3.5%, puede haber CO y/u hollín, el CO podrá no formarse y si formarse hollín. Estos valores dependen del exceso mínimo de aire según el tipo de quemador).

FALTA DE AIRE O MALA COMBUSTION

La caldera se ensucia rápido hace aumentar la temperatura de gases

**hay humos negros**

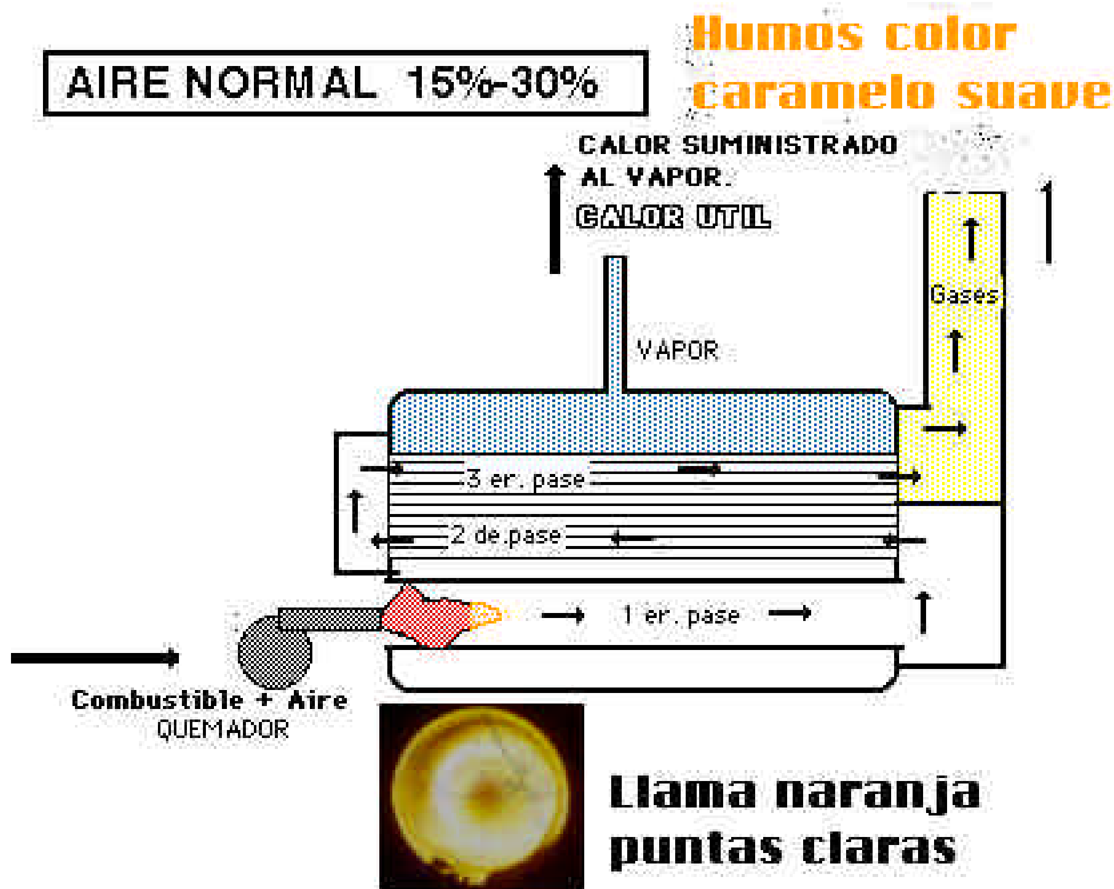


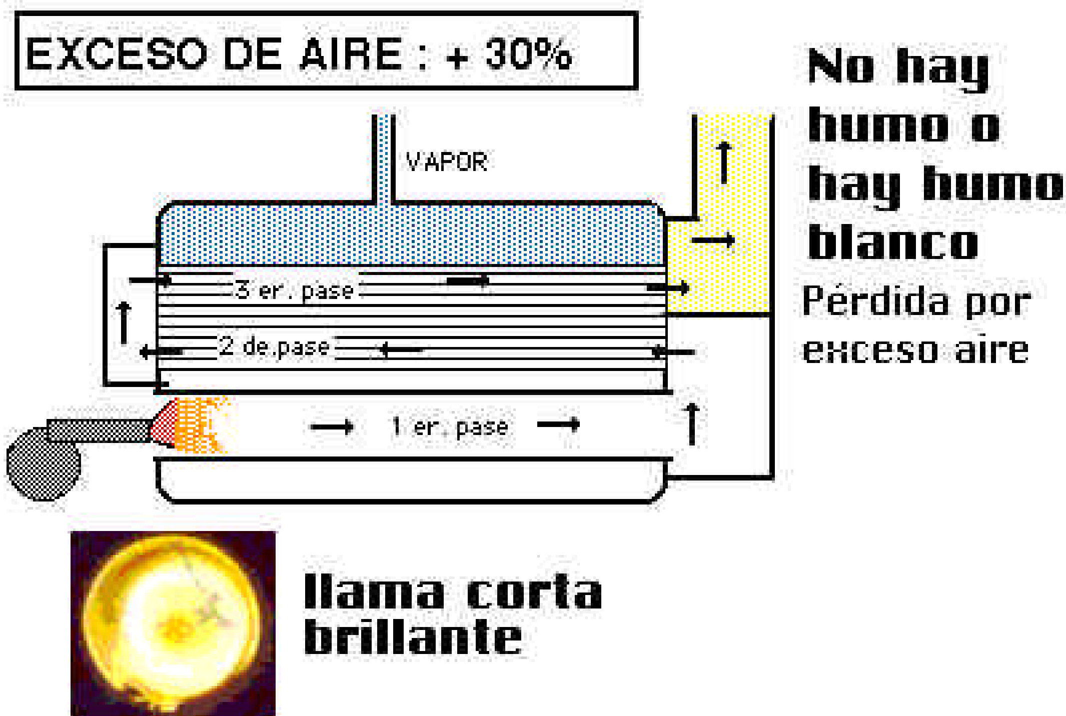
**llama larga oscura**

Se forma escoria, hollín, depósitos F.Oil

2-**Buena combustión** : la llama relativamente corta y anaranjada, los **humos son levemente perceptibles** (un leve **color caramelo**). Los valores de CO2 serán entre 12% y 14% , el O2 entre 3,5% y 6%, nada de CO y el hollín casi nulo . Estos valores dependen del tipo de quemador y caldera.




3-**Exceso de aire**: la llama es muy corta y un naranja brillante: casi blanco, **no se ven humos en chimenea** o si el **exceso es muy grande el humo es blanco.** ($CO_2$ menor 12%, $O_2$ mayor al 6%, dependiendo del tipo de quemador y caldera).




4-**Mala combustión** : puede haber falta de aire o un exceso de aire en zonas de la combustión por mala atomización o mala regulación de la interacción del aire con el combustible. Mala atomización o combustible frío o demasiado caliente (copa rotativa). Agua en el combustible (chisporroteo ), etc..



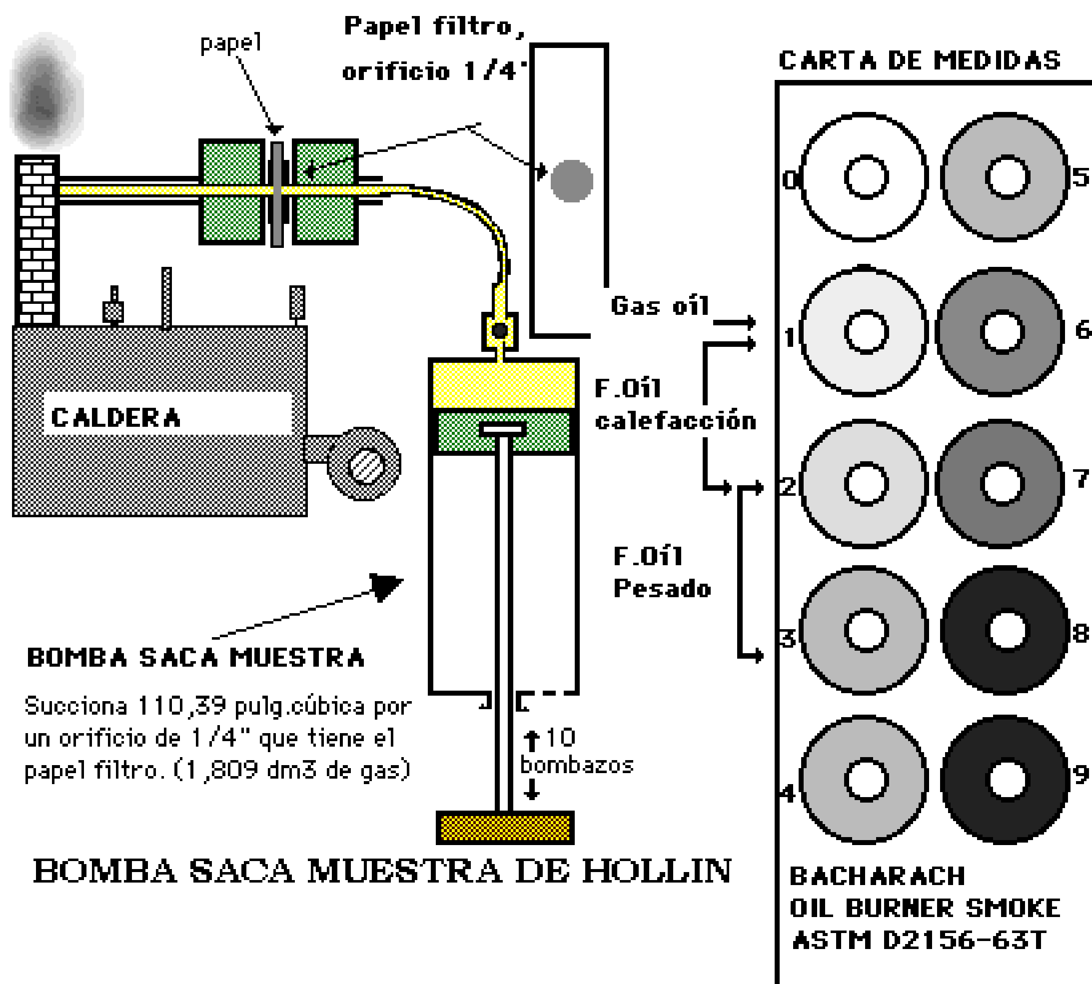
**El uso de aditivos en el combustible, favorece la atomización en algunos casos (atomización mecánica, al bajar la viscosidad), pero los "males" de la combustión deben ser corregidos con los ajustes del quemador**. El uso de aditivos por lo general emulsiona el agua (no permite decantar el agua del F.Oíl en los tanques de servicio, si la contaminación es importante, esto provoca dificultades). Los aditivos de combustible pueden ser dirigidos a mejorar la combustión al incluir partículas incandescentes en el seno de la llama (contienen sales que desprenden partículas que al entrar en contacto con la llama, producen luminosidad y con ello temperatura que acelera la combustión), en otros su función es **neutralizar el azufre y vanadio**, **o mejorar la circulación del combustible en la zona fría** (filtros y tanques, evitando o disolviendo los barros de la descomposición del propio F. Oíl).

Lo que debe quedar claro que **no se debe utilizar aditivos de baja temperatura punto de inflamación** ("**flash point",** es la temperatura en el cual se produce el encendido momentáneo del combustible en un vaso abierto a la atmósfera al entrar en contacto en su superficie con una llama, **el punto de combustión o** "**fire point**" es la temperatura en el cual la superficie del combustible continua ardiendo por lo menos más de 5 segundos), ya que **esto es peligroso, debido a que la formación de vapores combustibles**, puede ser la causa de una explosión de hogar o de un tanque o local (la temperatura de inflamación de un F. Oíl es aproximadamente unos 65ºC, por lo general se calienta para la circulación entre 40ºC y 60-ºC, luego para atomizar la temperatura será en general de no menos 100ºC y hasta casi los 145ºC, lo que significa que un aditivo de baja temperatura de inflamación (punto de inflamación) provocará gases de carácter explosivos). Cuando se compre aditivos, este será un punto a tener en cuenta, que el aditivo tenga un punto de inflamación igual o por encima del combustible

.

(Los valores de chimenea fueron dados en % sobre gases secos: Orsat, Fyrite, etc.)

**Para el control de la formación de hollín en los gases de chimenea**, además de la observación visual de los gases a la salida de la chimenea (que es una estimación) se puede usar una "bomba saca muestras" de hollín como la **Bacharach** (la que indica con más precisión que la observación visual el hollín en los gases), sigue la normas establecidas por la norma **ASTM D2156-63T**, que indica que una mancha de hollín en un papel filtro, provocado por un volumen de gas de chimenea de 110,39 pulgadas cúbicas (1,809 dm3 de gas) que al pasar por un orificio de 1/4" ( Ø 6,35 mm de diámetro), la mancha de hollín que deja, se compara con una "carta" con un valor indicado correspondiente al Nº de hollín preestablecido (son círculos con un color tipo hollín de distinta tonalidad, que tiene en su centro un orificio de 1/4" por donde se mira la mancha dejada en el papel filtro para comparar). Por ejemplo: cuando quemamos F.Oíl Pesado la mancha máxima aceptable es la Nº3 , aunque con un quemador en buenas condiciones se puede obtener la Nº1. Los combustibles líquidos más livianos el Nº máximo aceptable es menor, ya que se puede trabajar con muy baja formación de hollín, como en el caso del Gas Oíl, cuyo Nº máximo será el Nº1. Véase el dibujo inferior.




El exceso de aire (un CO2 por debajo de 10% u O2 por encima de 5%) no es una indicación suficiente para decir que no habrá hollín en los gases de chimenea, por eso, la medición con la Bomba Saca Muestras de Hollín (Bacharach®), ya que por muchas razones puede haber una mala combustión. La simple observación de los gases de chimenea hoy en día es totalmente insuficiente. Por general las distintas formas de atomización del combustible, hace que algunas de ellas funcionen mejor con los combustibles más pesado (caso de la atomización con vapor o aire comprimido caliente, y algunos quemadores de "copa rotativa", que hacen que este combustible problemático de quemar, se logre una mejor combustión). Por supuesto, el régimen de marcha de una caldera influye, ya que una caldera con muchas paradas y arranques, hará mucho más hollín, ya que el período del "arranque" la combustión es muy inestable, por lo que produce hollín hasta llegar a la estabilización de la llama.




**En caso de apagarse la caldera por un corte de energía o falta de agua, cerrar el vapor** (el quemador estará apagado, pero pueden quedar tubos expuestos al calor residual, sin agua que los refrigere, en caso de no cerrar el vapor).

**Al apagar la caldera** al fin de la jornada se debe apagar el quemador (hacer un post-barrido de gases con aire, dado que el combustible puede haber "goteado" y formar gases explosivos), cerrar el vapor, cerrar los tiros, apagar los ventiladores y bombas de combustible (así como los calentadores de combustible, cerrar la maniobra de combustible, la purga continua, etc.), dejando la alimentación de agua en funcionamiento mientras haya presión de vapor en el interior de la caldera. **No forzar la bajada de presión, la caldera enfriará despareja, creando tensiones perjudiciales.**

Después de unos 15 minutos de parada es conveniente efectuar una ronda de purgas (ya que el barro tenderá a bajar). Luego que baje la presión a casi cero, se deberá inundar la caldera con agua tratada (para evitar la corrosión por el oxígeno del aire), dejando un sello hidráulico para compensar la dilatación y contracción del agua (en algunos casos dejando la alimentación abierta es suficiente) .

Si la caldera **no se inunda**, al enfriarse **se produce un vacío** que podrá provocar tensiones de presión inversa (presión de la atmósfera) que en algunos tipos de caldera se debe tener en cuenta (que pueden afectar su estructura, especialmente en calderas de baja presión) y **puede provocar "succiones" de productos** que se encuentran calefaccionados por el vapor directo, contaminando el agua de caldera (digestores, tinas. etc.) o la entrada de oxígeno que produce corrosión ("pitting").

**Cuando la caldera se deje por largos períodos**, se deberá controlar las condiciones del agua, de manera de que la corrosión sea mínima. Para que esta no ocurra, el PH del agua deberá ser mayor de 10,5 y deberá haber suficientes productos químicos que puedan absorber (o combinarse) con el oxígeno del aire que pueda entrar (aún con la caldera inundada y con un sello de agua que permita la libre dilatación y contracción sin que entre aire de la atmósfera).

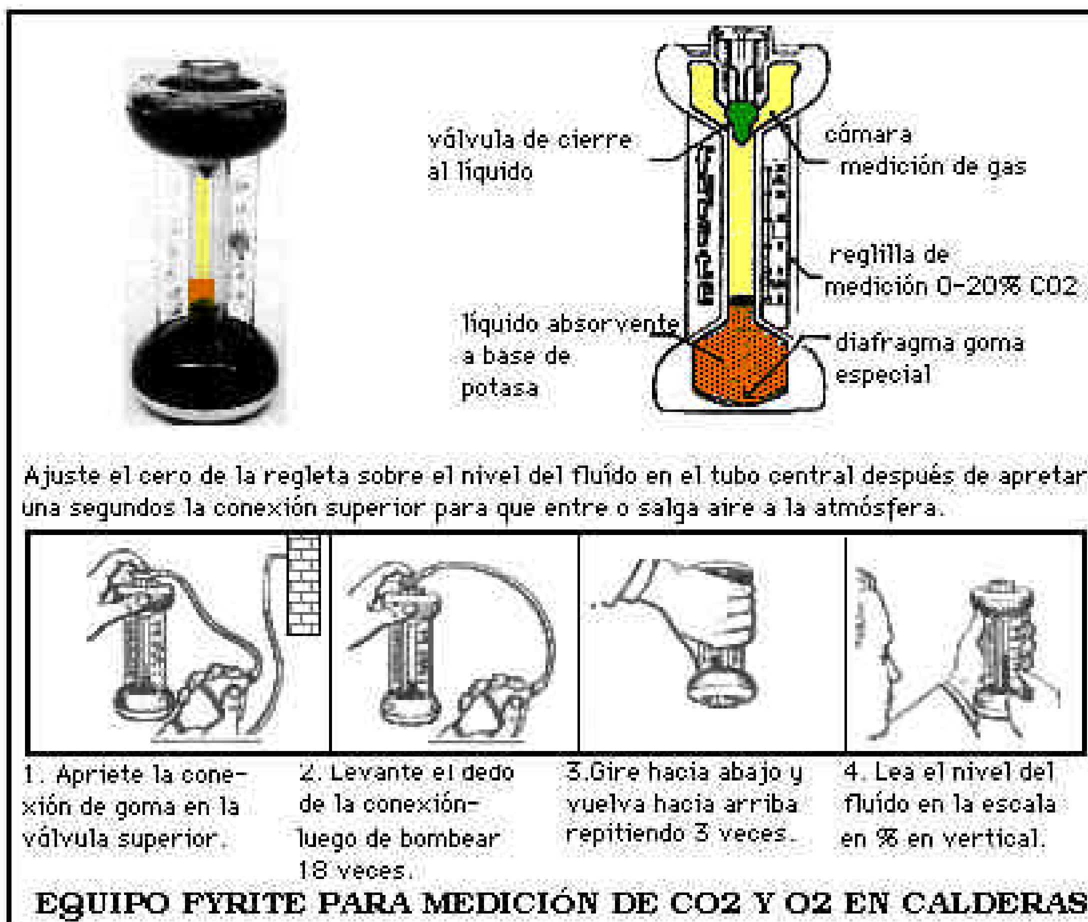
**Evite la entrada de vapor de otras calderas a la caldera parada** (debido a pérdidas de las válvulas de vapor), ya que el vapor produce un condensado de tendencia "corrosiva" que afecta a la caldera parada, produciendo en la parte superior al condensarse, condiciones que favorecen la corrosión.

**Bajo ninguna circunstancia es conveniente dejar la caldera con nivel bajo**, (consumiendo el vapor aún con el quemador apagado). Los tubos al quedar "descubiertos" son afectados por la corrosión. Por eso al haber un corte de corriente, cierre inmediatamente el vapor al "consumo" para evitar que la caldera pierda el nivel normal (corrosión y recalentamiento).

**Cuando el tiempo de parada supere el tiempo de meses** y la caldera no estará afectada a su utilización inmediata, es recomendable la "**conservación en seco**", es decir sacada el agua, "manguereados" los barros internos, **secar totalmente** el interior de la cámara de agua y vapor (con aire caliente o calefactores eléctricos), manteniendo el interior seco durante este período con temperaturas más altas que la del ambiente o con productos que absorban la humedad (cerrando la caldera con : cal viva o silica gel), inspeccionando periódicamente para reponer los absorbentes, cuidando de no dejar que los mismos caigan en el interior de la caldera (la cal es corrosiva).

Es conveniente desconectar todas aquellas cañerías que puedan introducir agua o humedad al interior de la caldera (cañerías de vapor, alimentación de agua, etc.).

Limpiar las zonas de hollín (cepillando, con aire, con agua caliente alcalinizada, etc) y secarlas muy bien (poner calefactores si es necesario).

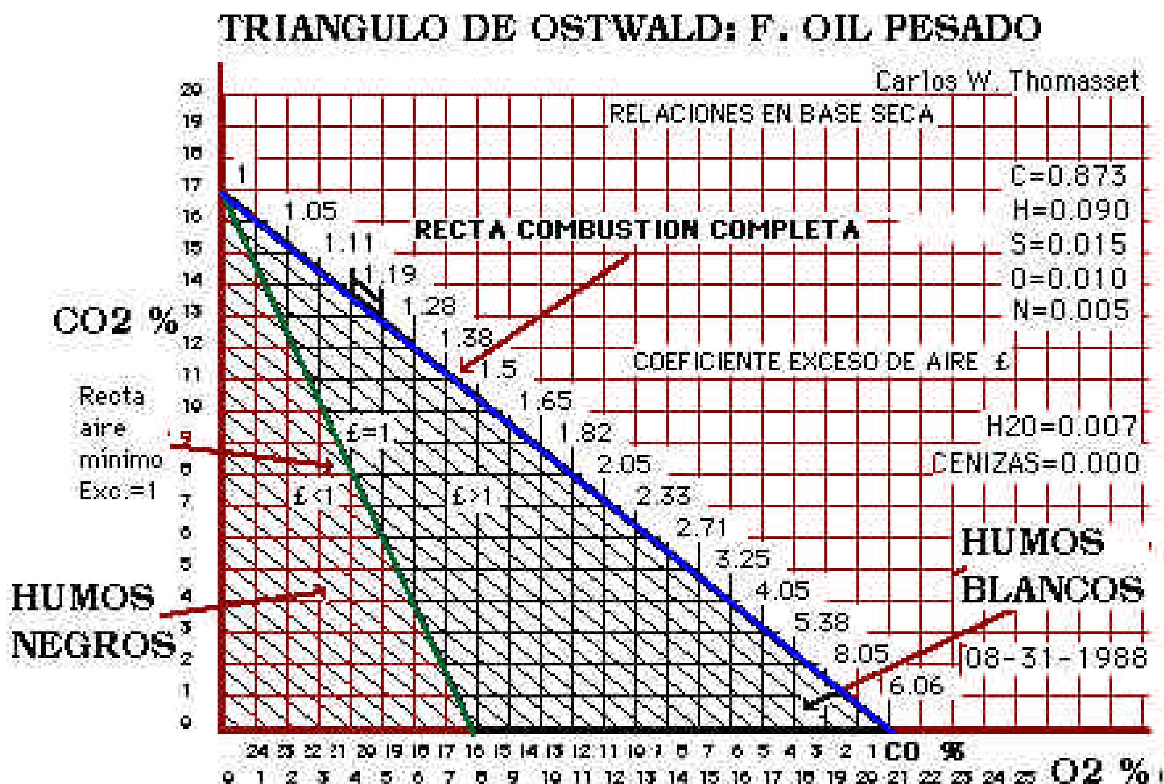



**El FYRITE** (Bacharach) es un equipo del tipo de absorción química, para la medida del CO2 , habiendo similares para O2.

En el caso del **CO2** (anhídrido carbónico), se utiliza **hidróxido de potasio** (KOH) como absorbente, a una determinada concentración (este absorbe a la suma de CO2+SO2, siendo por lo general muy baja la incidencia del SO2%). La medición es una medida en una columna hidráulica (tubo con gas y líquido) que será sometido al peso de la solución y a la presión de la misma al absorber el CO2, y por medio de una membrana a la presión atmosférica en la parte inferior de la cámara del líquido (previa calibración a 0%, al comunicar el interior del equipo con la atmósfera y luego ajustar la reglilla a cero 0%). Una vez mezclado el gas de muestreo atrapado en la cámara superior con la potasa, el CO2 se absorbe químicamente, lo que hace disminuir la presión interior, la presión atmosférica empuja el diafragma hasta el equilibrio, en donde al leer el nivel que sube por el tubo central puesto vertical, dará la lectura del CO2% . El medidor de O2, será similar en la operación, aunque el elemento absorbente, será otro **producto químico selectivo**, o sea que solo actúa con el O2 (el problema con el medidor del O2 es que ante cualquier penetración de aire, cuando el equipo está en reposo-guardado- se agota el líquido, cosa que no ocurre con la potasa).

Estos equipos tienen la gran ventaja de la simplicidad y la facilidad de su mantenimiento (o reparación), su error, si bien puede ser de hasta 0,5%, su precisión es suficiente para el ajuste de la combustión en la calderas más comunes .

**Recordar que estos equipos miden los gases en relación seca** (considera el agua en los gases de chimenea como ausentes o sea, condensada).




**Ver en la página 176 la utilización de Triángulo de Ostwald.**

**Hay que considerar que cada Triángulo de Ostwald, así como las curvas teóricas de gases de chimenea, son trazados con valores del % de gas en "base seca"** (y dependen de la composición del combustible y el aire al nivel del mar) **o sea se considera que el agua que trae el combustible más el agua que produce el hidrógeno que contiene el combustible como si estuviera "condensada" o sea transformada en agua por enfriamiento** (no existe como si fuera un gas más, como el CO2, el O2, el CO, el N y otros gases si hay mala combustión.

Por eso cuando usamos un instrumento para medir los gases, debemos de saber en que principio se basa, ya que si mide los gases en "caliente", el vapor de agua de los gases de chimenea intervienen en la medición (como el caso de la celdas de óxido de zirconio para medir oxígeno), otros instrumentos enfrían los gases hasta la temperatura ambiente, pero queda algo de agua evaporada que influye levemente el % de lectura.

Los Orsat, Fyrite y otros instrumentos de absorción son los que miden en "base seca", el vapor de agua fuera de que se condensa, el poco que queda se "compensa" en la medida.

## CALENTADORES DE F. Oíl pesado y su problemática:

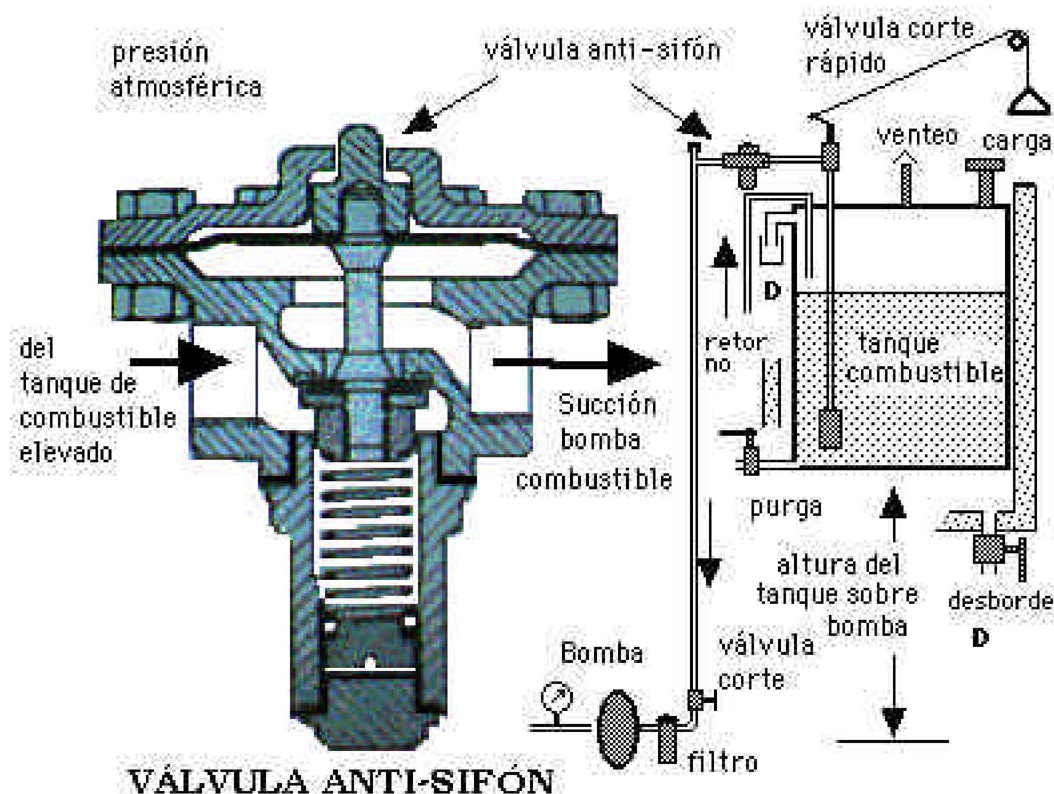
La utilización de F. Oíl pesado (también en F. Oíl de calefacción, es decir F.Oíl pesado que le ha sido bajada su viscosidad con el agregado de Diesel Oíl en casi un 30% , lo que facilita el bombeo a bajas temperaturas y luego en su atomización se deberá utilizar a una temperatura menor al necesario para el F. Oíl pesado, pudiéndose utilizar en quemadores más pequeños cuyas pastillas de atomización no podrán atomizar bien el F. Oíl pesado en forma adecuada).

**El precalentamiento del F. Oíl pesado**, **para el bombeo**, generalmente se hace en los tanques de almacenamiento, por medio de serpentinas de vapor (cuyo condensado conviene tirar por si llegan a contaminarse al perforarse una de las serpentinas), es hasta una temperatura en que se pueda bombear sin problemas (un exceso de temperatura puede ser contraproducente para el trabajo de las bombas y hasta para su sellaje en las empaquetaduras), que por lo general esta temperatura está en el entorno de los 50ºC (calor necesario para calentar 1ºC a 1 Kg. de F. Oíl, llamado calor específico, es aprox. 0,5 Kcal/Kg. o sea, **la mitad** necesaria para calentar 1 Kg. o 1 Ltr. de agua a la misma temperatura). **Dado las distancias de bombeo, tanto de mandada como de retorno, obligan a tener la cañerías aisladas y además con elementos calefactores** (trazadores de vapor o agua caliente, como también eléctricos, estos elementos están en contacto con el metal de la cañería de F. Oíl pesado y le transmiten una cierta temperatura para mantener el combustible en el entorno de los 50ºC). Los sistemas de trazadores de calor de vapor o agua caliente, son simples cañerías de hierro o cobre, en contacto con el caño y ligados a él por medio de "puentes de calor", siempre debajo de la aislación. En los trazadores eléctricos, hay una variedad muy interesante, desde un simple cable con efecto "resistivo" que al pasar una corriente caliente como si fuera una estufa, hasta elementos con cables que en realidad trabajan a muy bajo voltaje y altas corrientes, provocando un efecto de calentamiento por el campo magnético alterno en el caño de combustible (este último se utiliza mucho en los oleoductos que acarrean por zonas frías y largas distancias, como en Alaska, Canadá, etc., aunque también se puede utilizar en un sistema de calderas).

Cuando no existen estos trazadores, en las las instalaciones más pequeñas, hay dos caminos a recorrer para empezar a bombear el combustible frío: 1- haber parada la caldera con un combustible más liviano como el F. Oíl de calefacción o más liviano, como el Diesel Oíl o Gas Oíl, , 2- calentar todas la cañerías con un soplete de gas antes de intentar de prender las bombas de circulación de F. Oíl pesado.

**En la sala de calderas**, el combustible podrá ser: **a- aspirado por la bomba de combustible del quemador** (en depresión); **b- podrá ser tomado de un "anillo de combustible de baja"** o sea un sistema de cañería de mandada y de retorno al tanque de combustible; **c-ser aspirado de un tanque elevado de servicio** (en presión-más alto respecto a la bomba, muy problematizado por los incendios, especialmente debido a los derrames); **d-ser aspirado por la bomba de un balón sellado** (en presión hacia la bomba, con un depósito de combustible para unos minutos, pero con la gran ventaja que está sellado respecto a los derrames). Este último sistema me ha resultado muy simple y muy seguro, siempre y cuando esté adecuadamente diseñado, es similar al anillo pero con la ventaja que se manejan mejor las fluctuaciones de presión del combustible al variar sus condiciones de bombeo.

**El riesgo en los combustibles livianos** (gasoíl, diesel oíl y aún los F. Oíl muy calentados, etc.), **cuando hay un taque de servicio elevado, es el derrame al perder una conexión, romperse un caño o un mangón.** Para evitar esto, se instalan elementos anti-sifón, es decir, elementos que impidan el derrame por gravedad, estos sifones podrán ser del tipo estático (caños), o válvulas de solenoide o del tipo dinámico con **válvulas anti-sifón**, veamos un ejemplo de este último:



VÁLVULA ANTI-SIFÓN

Dentro de los **errores de instalación en los sistemas de combustible, es la de disponer una válvula en la cañería de retorno de combustible:** en este caso si alguien la cierra por error, el mangón del quemador "reventará" por exceso de presión al prender la bomba del quemador (si es necesario una válvula, es conveniente poner una válvula de retención o una válvula con un "by-pass " con válvula de alivio),

**EL TANQUE DE COMBUSTIBLE:**

**El problema del incendio debe ser contemplado como una prioridad.**

Dependiendo si es **combustible liviano** (Gas Oíl, Diesel Oíl o F. Oíl de calefacción), o **combustible pesado** (F. Oíl pesado, ó Nº6 o residual, etc.), serán los accesorios y el diseño adecuado para el tanque. En los combustibles más livianos, la figura anterior, representa el caso de un tanque elevado sobre el quemador (aquí el problema del derrame por sifón o por simple gravedad, debe ser contemplado, poniendo una válvula anti-sifón, o una solenoide que actúe solamente al prender el quemador, habilitando la succión del tanque, o un sistema de cañerías que evite el efecto sifón, provocando un "pulmón" artificial de aire en la línea de succión, de manera que la bomba queda en succión si se produce una rotura de los mangones o caños próximos al quemador).

En el tanque anterior no está totalmente dibujado el tanque de derrame por rotura o desborde, cosa que debe haber un tanque inferior con mayor capacidad de recibir el combustible si hay perforación del tanque o desborde del tanque.

Estos tanques son muy delicados para el "relleno" de combustible, ya que se debe tener un sistema de control automático y uno visual del nivel máximo y mínimo, dejando un sistema para el desborde (que lo haga en una zona adecuada).

**Los automáticos de control de nivel deben ser adecuados**, ya que el combustible tiene muy poco "conductividad", prefiriéndose la instalación de sistemas de flotador, aptos para el combustible y que soporten las condiciones de operación.

**Siempre deberá haber un buen venteo** (fuera de sala), **un recipiente "de contención del derrame" al perforarse el tanque y un lugar de contención del combustible derramado por desborde.** La purga de agua de fondo del tanque, deberá estar por debajo de la succión (que deberá tener un filtro antes de la bomba), de manera de sacar el agua decantada.

**Pero cuando se trata de F. Oíl pesado, el tanque deberá tener un sistema de calefacción para el bombeo** (ya que el **F. Oíl pesado** cuando tiene una temperatura por debajo de los 30ºC a 40ºC, es casi imposible de bombear, debido a la alta viscosidad). El sistema de calefacción (generalmente a vapor o agua caliente), debe estar en la zona de succión de la bomba de trasvase o del propio quemador. **El pie de succión o válvula de succión, debe tener una válvula de retención** (que impide el "descebado" de la cañería al estar en depresión o con caída hacia al tanque, dicha válvula debe tener un asiento de buena características de sellado, como **vitón** que soporta el ataque químico y se mantiene "suave", y además, debe estar protegida por un **filtro** de un material inerte que no sea atacado por las condiciones químicas del agua que trae el mismo combustible, como una **malla de acero inoxidable**). Siempre conviene que haya **tomas bajas y tomas altas** (de manera que si se trabaja con las tomas altas, para evitar "arrastrar" agua; cuando hay poco combustible, se trabaja con las tomas bajas. Previendo que las tomas sean desmontables para su mantenimiento, teniendo cada una una conexión superior para el "·cebado" cada vez que se vacíen por alguna razón.

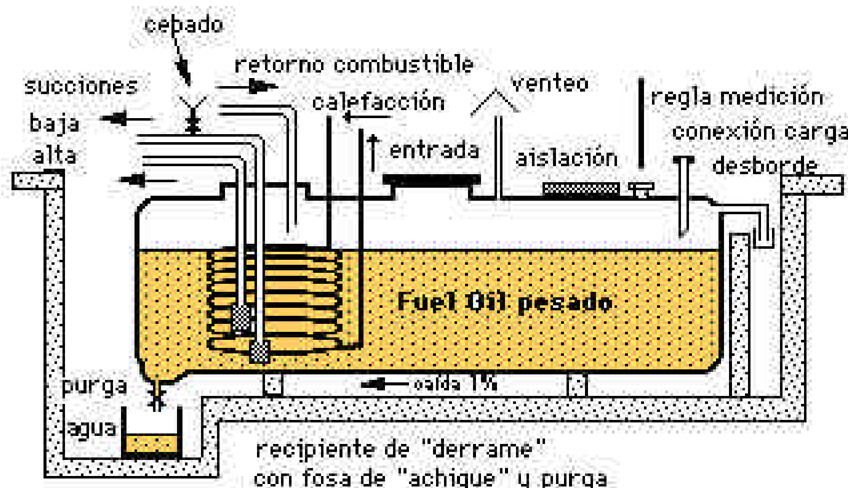
Estos **tanques de F. Oíl pesado**, si bien pueden ser sobre la superficie (con un recipiente extra de retención en caso del combustible se derramara por rotura del tanque), también pueden estar "bajo tierra", pero también deben tener un recipiente sellado exterior para la pérdidas o roturas del tanque (de manera de no contaminar el subsuelo), debiendo haber una forma de tomar muestras de la parte inferior de esta contención para ver si hay derrames.

Todo tanque, especialmente para el F. Oíl pesado, deben ir correctamente aislados, aún los combustible livianos si están a la intemperie (ya que ésto afectaría la buena combustión al atomizar un combustible muy frío. En el f. Oíl pesado que hay que calentar en el tanque o mantener caliente a 50ºC aprox., temperatura que por lo general se recibe del barco o del camión, de manera que al aislar no perdemos energía En el calefacción, aunque esté a temperatura ambiente, puede haber problemas de bombeo desde el tanque al quemador en el tiempo frío.

Es muy importante, con los tanques "bajo suelo", que aunque tengan doble tanque, **el problema de la corrosión** (aunque el tanque esté "pintado", la presencia de agua o humedad, en cualquier poro que pueda haber en la superficie de protección de pintura, se produce un "pitting" galvánico, que termina de perforar el tanque en pocos años, para evitar esto, mantener el tanque sobre una zona seca, que por lo general es arena y se pueden poner metales de protección tipo "ánodos de sacrificio", que por lo general son de aluminio, que irán conectados al tanque y enterrados en la arena).

También **en el interior del tanque puede haber corrosión**, de allí la importancia de darle caída a la parte inferior del tanque, hacía la purga, de manera de poder sacar bien el agua que trae el combustible.

**Es muy importante que el tanque esté "amarrado" para evitar la "flotabililidad"** (es decir que con el tanque vacío, se puede provocar que el mismo flote debido a que el tanque o recipiente de seguridad se llene con agua, por lo tanto el amarre debe ser importante, ya que por cada m3, de capacidad del tanque, tendremos 1.000 Kg. de fuerza de flotación, menos el peso del tanque. Esta flotabilidad puede romper las conexiones o hacer girar el tanque, que es el mismo daño).




**CROQUIS ELEMENTAL DE TANQUE PARA F. Oíl pesado**

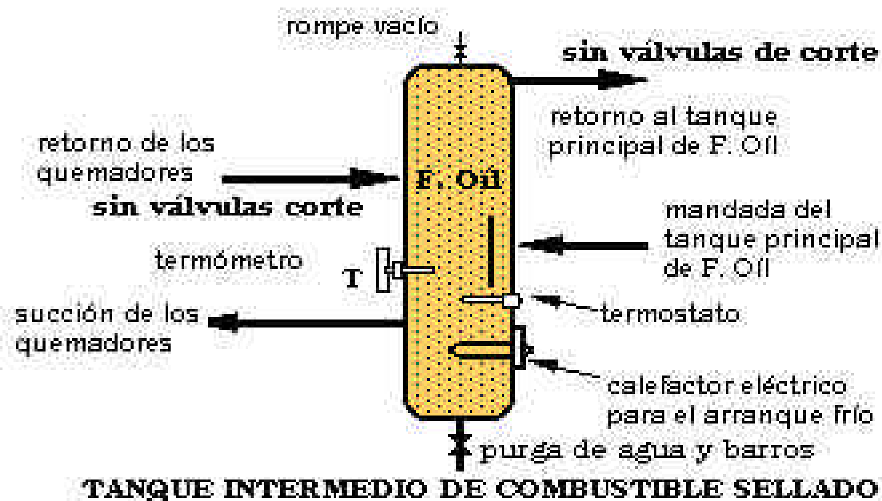
**El tanque de servicio** (F. Oíl)

**No siempre es necesario un tanque de servicio.**

El tanque de servicio es útil cuando los tanques de almacenamiento y recibo, están muy alejados de las bombas o succión de los quemadores, ya que una "depresión" en la succión, en un combustible pesado, hace difícil el bombeo (por la viscosidad, por la posible entrada de aire al estar en depresión, cañería con poco diámetro, etc.). Aunque la implementación de este tanque, **tiene una serie de riesgos** : **el problema del incendio,** el **control de nivel para el relleno** (puede ser automático, pero ocurren desbordes por falla del automático, el desborde debe ir a una zona sin riesgos y de recuperación), como el combustible debe ser calentado (en el entorno de los 50ºC, se producen vapores de combustible, tanto nocivos para la salud como para la posibilidad que pueda provocar una explosión con la proximidad de un llama abierta o un corto-circuito eléctrico, además obliga a una calefacción extra para cuando se arranque en frío y el combustible tiene una gran viscosidad, quedando el problema del purgado del agua acumulada por asentamiento (el agua se separa mejor con el combustible algo caliente) o el desprendimiento de los gases o aire que tomen las bombas de los quemadores y vuelvan por retorno al tanque de servicio. Pero **el problema mayor es el derrame de combustible en la sala de calderas** (debe haber un recipiente inferior capaz de recibir todo el combustible perdido, casi imposible si la bomba de trasvase sigue prendida).

**Para evitar esto**, se puede hacer un **tanque intermediario sellado**, de buena pared de metal, con un reservorio de combustible para una marcha de unos minutos a 1 hora , **pero que el combustible es bombeado por una bomba próxima al tanque principal cuando el quemador está en servicio, y que el exceso de combustible retorna al mismo tanque.** Este reservorio está presurizado para las bombas de los quemadores por un altura de instalación sobre los mismos y por la pérdida de carga de la cañería de retorno (retorno que se hace por la parte superior y regresa al tanque principal, todas estas cañerías de buen diámetro, no menos de 11/2" (en combustible pesados), **aisladas y con trazadores de calefacción**, **arrastrando los gases y el aire, en donde irán al venteo del tanque principal**), la alimentación a los quemadores a una altura intermedia de manera de no tomar los barros y el agua del fondo del reservorio, quedando en la parte inferior la purga para los mismos. El retorno de los quemadores, más próximos al retorno del reservorio, para separar los gases en la parte superior. La entrada del combustible del tanque, con un "baffle" de choque y separación, de manera de provocar una separación de gases, aire y agua, sin establecer una succión directa de los quemadores. **Este tanque nunca deberá estar sometido a la presión de las bombas de**

**combustibles** (es decir que si tiene válvula en el retorno al tanque principal, debe tener una válvula de alivio en paralelo con dicha válvula de corte). **Cuando se construya, deberá soportar la presión de trabajo sin problemas** (hacer una prueba hidráulica), **con el combustible muy frío puede llegar a levantar una presión mayor dado incidencia de la viscosidad en la cañería de retorno** (por ello la cañería de retorno debe ser de generoso diámetro, aislada y calefaccionada).




TANQUE INTERMEDIO DE COMBUSTIBLE SELLADO

**EL CALENTADOR DE COMBUSTIBLE EN LA CALDERA**

**Luego, hay que subir la temperatura para la atomización,** según sea el tipo de quemador a utilizar, para ello se utilizarán **calentadores a vapor o eléctricos**.

**Los calentadores a vapor**, por lo general serán del tipo de un recipiente que podrá tener una serpentina de vapor, tubos de vapor, placas y tubos (con un sistema para absorber la dilatación del cuerpo en referencia a los tubos que se encuentran entre las placas). **Aquí el problema más importante es que el cuerpo del calentador podrá estar sometido por lo general a la presión de las bombas de atomización,** ( para evitar que las bombas estén sometidas a altas temperatura, lo que provoca su rápido desgaste y dificulta mantener su eficiencia) **o a la presión de baja** de un anillo de baja presión y las bombas de alta sometidas a la alta temperatura) **. Como las bombas por lo general son de desplazamiento positivo** (es decir, que si se cierra su descarga levantan la presión hasta el límite mecánico del sistema, como si fuera un "tornillo"), **esto obliga a que la bomba y el cuerpo del intercambiador tengan un sistema de válvulas de alivio, por si alguien cierra la descarga del calentador.**

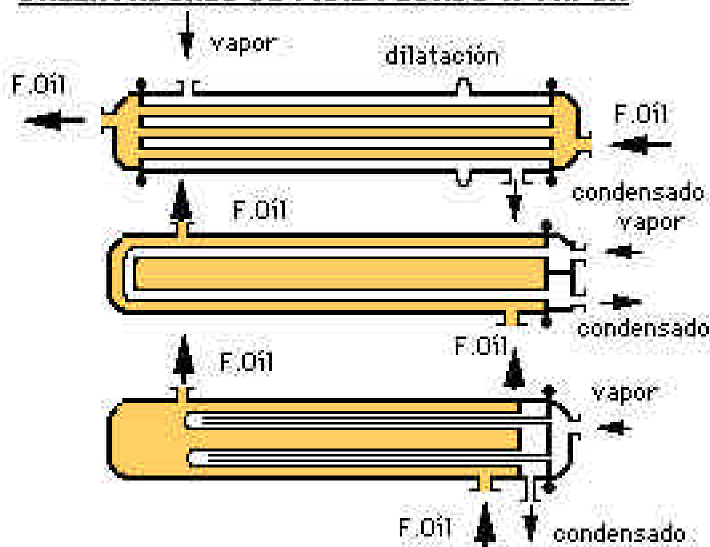
**El otro problema es la dilatación hidráulica del combustible** (si confinamos un líquido en un recipiente de hierro y lo calentamos, no habiendo en su interior ninguna burbuja de aire o gas, la presión podrá subir hasta el límite en que el recipiente se rompa o se estire, ya que el líquido dilatará más que el recipiente que lo confina). **Por ello, si alguien cierra las válvulas de entrada y salida del combustible y luego dá calor , si no hay una válvula de alivio, es muy probable que el calentador se averíe** (con riesgo o nó para las personas, no olvidar que el F. Oíl está caliente por lo general a más de 100ºC). Si el termostato de manejo del vapor está en el propio calentador, podrá evitar este exceso de temperatura (siempre y cuando no pierda la solenoide o la válvula termostática de control, lo que hará que la temperatura suba hasta la temperatura máxima del vapor de alimentación al calentador), pero **la dilatación ocurrirá igual** debido a que si el combustible entró a una baja temperatura y subió a la de trabajo.

Si el termostato está afuera del calentador, en el circuito de salida, la temperatura será aún mayor y su riesgo también. **Debemos controlar que exista un alivio.**

**Hay varios tipos de calentadores de vapor con un recipiente, en todos por lo general está contemplado el problema de la diferencia de dilatación del cuerpo en referencia a los tubos que al estar en contacto con el vapor más caliente dilatarán más que el propio cuerpo que los confina.** El vapor será controlado por un termostato que accionará una válvula de solenoide o por una válvula termoreguladora. Por lo general **el condensado se tirará para evitar la contaminación** del agua de alimentación de caldera. El condensado será controlado por una trampa de vapor, que siendo de flotador solamente dejará pasar el condensado, con muy poca pérdida de vapor (las trampas termodinámicas consumen vapor para funcionar).

Conviene revisar en forma frecuente, el aspecto del condensado para ver si hay pérdidas de F. Oíl, ya que se corre gran riesgo de contaminar el agua de caldera con F. Oíl (muy perjudicial) al prender la bomba de combustible que levanta presión del mismo en el calentador al estar la caldera con una presión de vapor menor a la presión del combustible en el interior del calentador (cuando ocurre una contaminación, en el tubo de nivel visual aparece una "aureola" flotando sobre el agua o directamente el aspecto del combustible en el tubo de nivel, pueden provocarse "arrastres" de agua de caldera, olor en el vapor o lo que es peor : quemar algún tubo por falta de transferencia térmica). **Para evitar que entre combustible por pérdidas del calentador en la caldera, es conveniente la instalación de una válvula de retención en el suministro de vapor al calentador** (quizás con asiento de teflón para asegurarnos un buen cierre), **válvula que irá conectada después del sistema de regulación de vapor, en una zona que se pueda chequear su eficacia.**

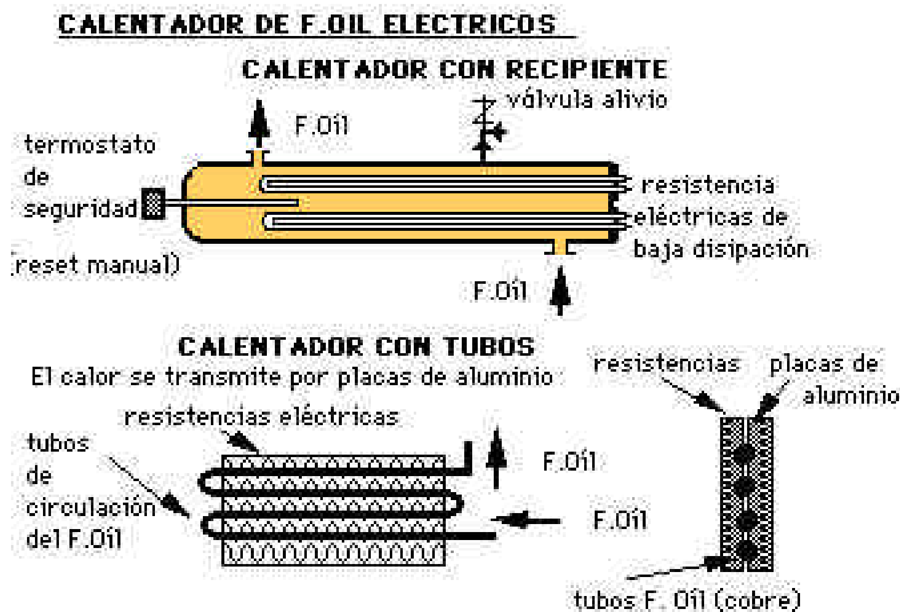
A veces es conveniente la limpieza anual del calentador del lado del combustible, para sacar incrustaciones carbonosas que impiden una buena transferencia de calor; para ello se puede hacer una limpieza mecánica con un sistema de turbina (a veces con un previo tratamiento químico a base de fosfato trisódico caliente en circulación por varias horas del lado del combustible del calentador, con una bomba exterior , evitando que esta solución penetre en el sistema de combustible). Por lo general la corrosión del calentador es por el lado del vapor, en la zona de recolección del condensado, por ello el calentador debe tener la extracción del condensado en la parte más baja de la cámara de vapor, de manera que no se estacione condensado, especialmente cuando está parado (frío o cerrado el vapor y penetra aire).




**<u>En los calentadores auxiliares o principales eléctricos,</u> si el sistema se basa en un recipiente con resistencias internas, el problema se agrava.**

Como **las resistencias eléctricas tienen una alta temperatura**, si no hay disipación de calor, esta temperatura irá en aumento (en el calentador a vapor la temperatura máxima será la del vapor saturado de la propia caldera, y la temperatura máxima que podrá subir el F. Oíl, que si bien no es conveniente, tampoco será tan alta como cuando hay calefacción por resistencia eléctricas):

**Aquí hay varios aspectos a tener en cuenta :** 1- deberá existir **un termostato de máxima temperatura en el propio cuerpo del calentador eléctrico**, para evitar un exceso peligroso de temperatura (que corte un poco por encima del termostato de marcha y que sea del tipo de rearme manual, es decir que un vez que "salta" se deberá a volver a poner en funcionamiento manualmente de manera que el foguista sea "avisado" de la situación anómala), ya que esta alta temperatura no solo "quema" el F. Oíl o las resistencias, sino que puede producir grandes presiones en caso que el sistema no tenga válvula de alivio, pudiendo provocar la explosión del calentador. Este termostato de alta entre las resistencias, también protegen a las resistencias por si el calentador es prendido sin circulación del combustible, ya que si así fuera se quemarían las resistencias por falta de disipación; **2-deberá de tener un sistema de alivio**, para absorber la dilatación hidráulica del calentamiento en caso que este incomunicado al sistema de combustible (y también en caso de que falle el termostato de alta o quede el contactor "pegado" elevándose la temperatura con el calentador incomunicado) y **3-las resistencias deberán ser adecuadas para calentar líquidos viscosos** (la disipación con cm2, deberá ser lo suficientemente baja para que no queme ni las resistencias y no queme el F. Oíl, haciendo "cascarillas" que desgastarán a las bombas, las toberas de atomización o tapando algún conducto de solenoides o de válvulas de alivio, generalmente esta disipación es muy por debajo de las resistencias comunes utilizadas para el calentamiento de aguas como en los calefones, en el orden de los 3 a 5 watts/cm2).




En algunos sistemas de calefacción eléctrico del combustible, para evitar riesgos, como el quemado del combustible por falta de circulación y exceso de disipación de la resistencias eléctricas, los calentadores son de tubos por el cual circula el combustible y estos están inmersos en una masa de metal conductora de calor, que son calentadas por resistencias eléctricas (de todas manera hay un termostato extra de seguridad no ajustable externamente y conveniente que tenga un reset manual, es decir que un vez que este corte, debe ser "armado" por el operador, para que este tome conocimiento)..

**Cuando un combustible, es calentado por encima de temperatura aconsejada de atomización** (para lograr su combustión completa)**, el problema generalmente es debido a un mal funcionamiento del sistema del quemador** (no es conveniente calentar el **F. Oíl pesado** por encima de **155ºC**, ya que a partir de dicha temperatura, empiezan los problemas generados por la formación de "cascarillas" de combustible que provocan distintos problemas en el sistema: desgaste, taponamientos de filtros, conductos, solenoides, etc.

**No trate de solucionar los problemas de ajuste del quemador, con una calefacción exagerada del combustible.**

En cuanto a la economía del calentamiento del F.Oíl, debemos decir que parte de la energía que suministramos en forma de calor al combustible para bajar su viscosidad y lograr una buena atomización, se suma este calor al calor liberado por el combustible, pero **lo que realmente pesa es cual es la energía utilizada para este calentamiento: es evidente que la energía eléctrica es la más cara** (siendo la más económica la utilizada al usar el propio vapor de la caldera).

El **calor específico del F. Oíl** ( **Cp** : aprox, **0,5 Kcal/Kg/ºC**., calor para calentar **1 kg. de combustible 1ºC**) es la mitad que la correspondiente al agua. Si utilizamos vapor, por cada **1 Kg. de vapor**, podremos calentar de **10 a 11 Kg. de combustibl**e (a más de **100ºC**), si usamos electricidad por cada **1 Kwh** (860 Kcal/kwh) podremos calentar unos **17 Kg. de combustible** en las mismas condiciones anteriores, pero para generar **1 Kg. de vapor** será suficiente por lo general unos **0,070 Kg.** de combustible (F.Oíl), lo que muestra cuanto más económico es calentar con vapor el combustible (ya que para equiparar calores, será suficiente **por cada 1 Kwh aprox. 0,120 kg. F. Oíl de combustión en una caldera de 0,85% de Eficiencia Total al PCI**).

## Problemática de la contaminación del combustible:

La contaminación más común del combustible es el agua, que puede introducirse en el tanque de combustible por filtración, agua de lluvia, condensación o pérdidas de las serpentinas de calentamiento (aunque puede haber otros tipos de contaminantes, desde arena o hasta el error de "tirar" en los tanques disolventes de limpieza o simplemente aceites usados, lo cual hará luego muy peligrosa la situación debido a la volativiladad de estos componentes).

El agua en combustible cuando es muy poca (menos del 1%), si la emulsión es buena, mejora la calidad de la combustión (hay un fenómeno de mejora de atomización, tal es así que hay máquinas para emulsionar agua hasta el 3%). Pero cuando el % de agua rebasa cierto límite se empiezan a notar "chispas" en el cono de atomización, hasta que llega un momento en que la combustión es inestable y se apaga el quemador.

Cuando se usan aditivos de combustible, el inconveniente que el agua es muy difícil de sacar por "decantación", ya que los aditivos de combustible tienden a emulsionar el agua de contaminación con el combustible (por eso no es aconsejable aditivar el combustible si el tanque tiene tendencia a la penetración de agua y esta debe ser extraída). Lo otro que dificulta la extracción del agua es la densidad del F.Oíl pesado cuando esta llega a 1 ( 1 litro=1 Kg), si esto ocurre el agua no se separa del combustible bajando a la parte más baja (se forman "masas" de agua a cualquier altura del tanque. **Para separar el agua en este caso, no queda más remedio que mezclar este combustible pesado con un combustible más liviano** (F. Oíl calefacción, Diesel Oíl o Gas Oíl) **en un % de manera que baje la densidad a menos de 0,98** (luego de mezclar bien, a veces calentando algo el combustible y luego dejando varias horas en reposo, se logra la decantación del agua).

En cuanto a las otras contaminaciones, en cada caso se debe obrar en consecuencia, **siendo muchas veces necesario extraer el combustible con una barométrica y devolviéndolo a suministrador** (con el reclamo correspondiente).

**Al ver todo esto, es aconsejable, disponer un tanque para el "recibo" de combustible y tomar una muestra en el momento de recibir el combustible** (en común acuerdo con el suministrador y guardarlo sellado hasta que sea utilizado el combustible sin problemas, y en el caso de que haya problemas, la muestra será testigo si el problema fue antes o después del suministro).

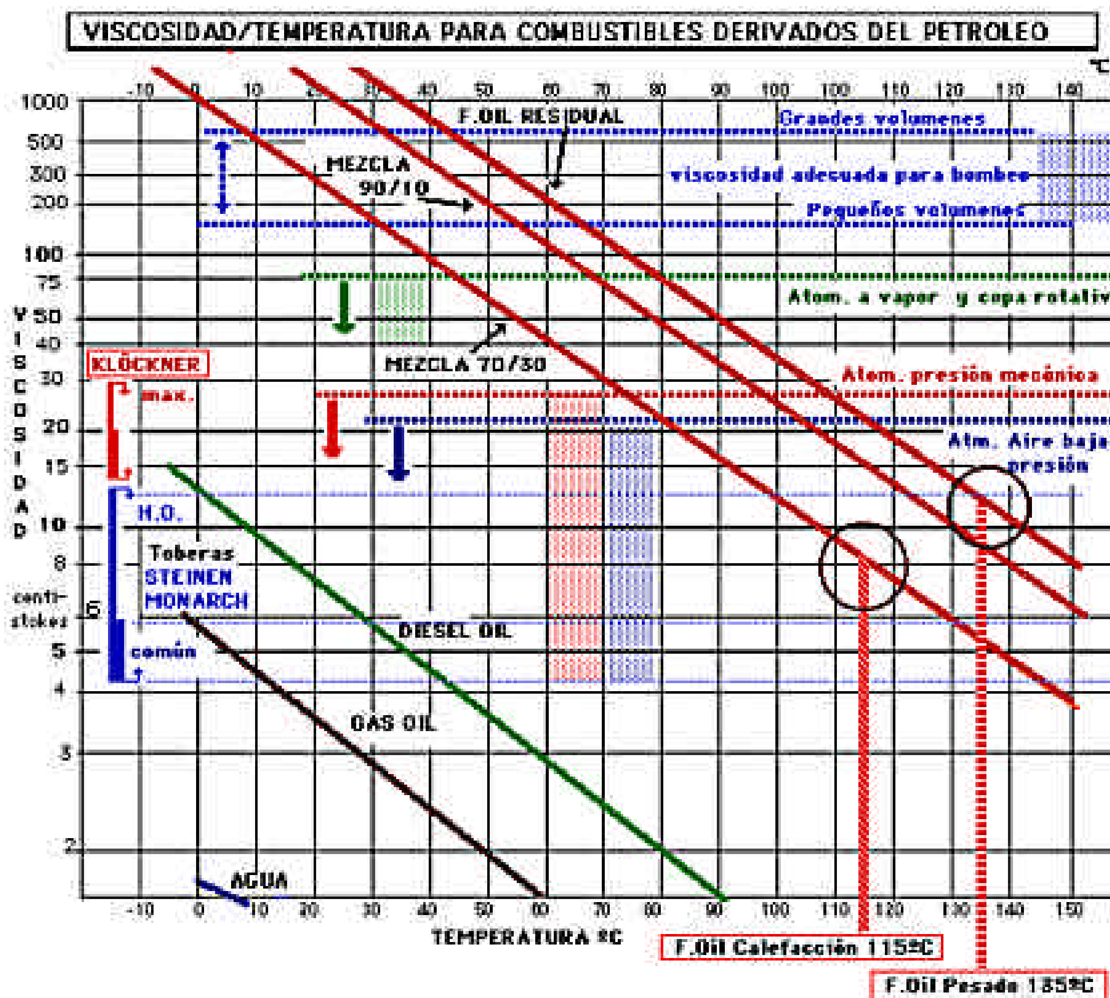
## El recibo de combustible:

El control de recibo de combustible es muy importante, **se puede controlar volumétricamente** (como el precio se dá por volumen a una determinada temperatura), pero como el combustible varía su volumen con la temperatura, esta tarea se hace un poco complicada en cada caso porque **hay que corregir por temperatura** (utilizando tablas para cada combustible), esta medida volumétrica se hace sobre los tanques, tanto del transporte como del recibo, utilizando **reglas previamente calibradas** (al final del libro hay método matemático para el cálculo de tanque cilíndricos, pero los tanque pueden ser ovalados o deformados al instalarse, por lo que es aconsejable la calibración de las reglas utilizando agua que se controla al introducir en el tanque para hacer su calibración, este es el método más seguro en tanque horizontales). **Una manera sencilla**, de un control relativamente preciso, es la de pesar el vehículo de trasporte, **antes y después de la descarga**, el volumen será aprox. el producto de peso en Kg. por el volumen específico en L/Kg (o la inversa de la densidad, valor que debe suministrar el vendedor del combustible), cosa que por lo general es muy fácil de hacer.

El recibo de combustible no solo comprende su volumen (por el que se paga), sino **por las cualidades de cada tipo de combustible.** Dentro de estas cualidades, de acuerdo a cada combustible, conviene controlar la **viscosidad** (permite ver su adaptabilidad al sistema de bombeo y atomización, ya que mide el esfuerzo de deslizamiento para impulsarlo por las cañerías, pero dicho valor está relacionado con la temperatura en que se mide la viscosidad, que generalmente baja a medida que la temperatura sube o sea es más fácil de bombear) el **punto de combustión** ("fire point"), temperatura a la cual se produce la primera combustión al acercar una llama sobre la superficie del combustible, dado que las **normas de seguridad para el uso de cada combustible**, nos permite trabajar con seguridad (no olvidar que un F. Oíl pesado con un punto de inflamación no debe tener volátiles que puedan provocar una explosión de hogar o incendio, al calentar el mismo para su bombeo o atomización, ya que puede ser que por error en el suministro se entregue un combustible de otras características, tampoco se debe permitir la introducción de aditivos o de otros combustibles de bajo punto de inflamación, es peligroso). Hay otras series de análisis que pueden ser solicitados, como el Poder Calorífico (Superior e Inferior), el **contenido de azufre máximo**, etc. **Una buena medida, al recibir el combustible, es guardar una muestra del mismo** (una botella de 1 L, bien tapada)**, sellada, en común acuerdo con la empresa suministradora, de manera que si aparecen problemas relacionados con el combustible, esta muestra pueda ser analizada y sirva para compararla con el análisis que se haga con el combustible en uso.**

En el gráfico siguiente, se podrá ver las **viscosidades más adecuadas para el bombeo** de los distintos combustibles (expresada del lado izquierdo de la gráfica en centi-stokes o viscosidad cinemática, una manera internacional de expresar la viscosidad, que también se puede expresar de otras formas: grados Engler (europeos), Saybolt Universal (U.S.A.), Saybolt Furol (U.S.A.), Rewood (Inglaterra), etc., que se pueden convertir unas a otras, utilizando tablas al respecto), así como la **mejor viscosidad para su atomización según sea el combustible y el tipo de quemador** (los quemadores o toberas mecánicas más comunes están indicados en la parte izquierda del gráfico). En la parte inferior izquierda se puso la viscosidad del agua y en la parte inferior derecha está indicada la viscosidad para el f. Oíl pesado, que se está en el entorno de los 135ºC para la atomización mecánica (con toberas adecuadas para ello, especialmente en quemadores chicos las toberas vendrán indicadas como H.O. o sea Heavy Oíl, que significa "aceite o combustible pesado").

El F.Oíl residual es el F. Oíl pesado (ó Nº6), la Mezcla 70/30 sería un F. Oíl de calefacción. El Diesel Oíl tiene mayor viscosidad que el Gas Oíl, además es más difícil de quemar. **Nunca se deben precalentar por error el Gas Oíl y el Diesel en un quemador que quema F. Oíl residual**, esto puede provocar una explosión de hogar al encender debido a la vaporización del combustible más liviano. Si es necesario mezclar F.Oíl pesado o calefacción con Gas Oíl o Diesel Oíl, hacer un buen mezclado antes de bombearlo al quemador (agitando mecánicamente o con aire, además el % de liviano no debe ser muy alto, en general como máximo no pasa del 20%) , de lo contrario se corren riesgos de explosión de hogar (si combustible liviano es precalentado en lugar de la mezcla).




**CIRCUITO HIDRÁULICO DEL QUEMADOR** (circuito que hace el combustible)

**Veamos un croquis de un sistema de F. Oíl, con un quemador de atomización mecánica con regulación por retorno** (aunque habrá muchos circuitos hidráulicos, según sea el tipo de quemador, lo común a todos ellos serán lo elementos básicos : depósitos, bombeo, calefacción y **fundamentalmente todos los elementos de control y de seguridad**) **:**

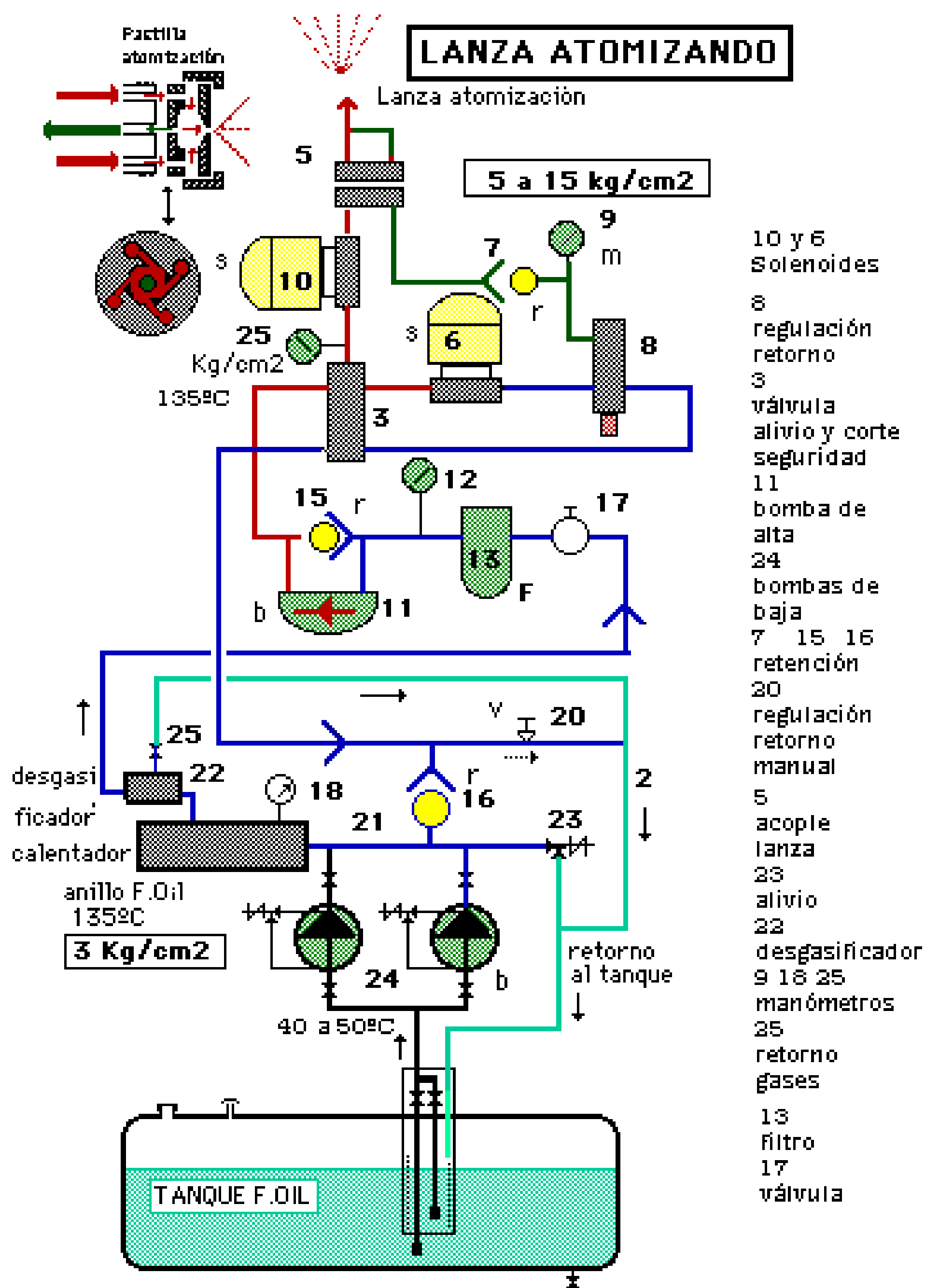
Como dijimos el quemador automático debe su accionar a un **programador** eléctrico-electrónico, que hace todas las secuencias y controla o recibe todas las señales de los elementos de seguridad: Controla que las válvulas de corte de combustible (en los quemadores importantes pueden ser 2) estén cerradas y solo serán abiertas alimentando la atomización, si se cumplen todos los requisitos necesarios, como ser: Previo a que debe haber nivel de agua suficiente, 1-Efectuar un pre-barrido de aire (expulsa los gases de combustible que puedan quedar en el hogar, esta operación hace 4 cambios de aire del hogar y tubos o 90 segundos con el 60% de la apertura del "damper", persiana, de entrada de aire), puede controlar si hay aire para combustión o flujo de aire (sin aire no habrá combustión, pero sí inundaremos el hogar con combustible hasta que el sensor de llama

cierre las válvula de seguridad), mientras tanto también recibirá la habilitación que hay temperatura adecuada en el combustible (un termostato "anti-smog", para evitar un arranque frío)**,** 2-el aire vuelve a quedar en aire mínimo para el arranque (una micro controla la posición de aire mínimo para evitar un arranque con exceso de aire que sople la llama o con exceso de combustible, ya que el "damper" de aire y la válvula reguladora de combustible, si el quemador es modulante, estarán ligados), 3- se prende una llama piloto (puede que no haya una llama piloto), esta llama por lo general es gas de garrafa y su encendido depende un transformador eléctrico que eleva el voltaje de la línea normal de suministro a más de 15.000 voltios, provocando una chispa que enciende el gas), **4-la llama piloto encenderá por unos segundos (por lo general 10 segundos, se prenderá siempre y cuando no detecte otra llama o calor que pueda prender la llama en el hogar, para evitar un explosión de hogar), en la cual podrá ser monitoreada su encendido por un sensor de llama** (fotocélula, que puede ser de infrarrojo que pueda captar la combustión del gas, fotodiodo o válvula), que si no ve la llama piloto, detiene la acción de encendido (podrá provocar todo un reciclo nuevamente o quedará en alarma de fallo de llama, depende del programador), en el caso que la llama piloto no esté controlada o si no hay llama piloto, se pasará a la acción siguiente, **5-se abrirán o abrirán las válvulas de suministro de combustible para la atomización** en la **condición de mínima marcha**, pero **si el sensor de llama no detecta la llama en 10 o 15 segundos, según potencia y si tiene piloto (15') o no (10'), las válvulas de corte de combustible accionarán (cerrando) abortando la operación** (se podrá repetir la acción en forma automática, haciendo un pre-barrido nuevamente de más corta duración, dependiendo del tipo de quemador y combustible). 6-Una vez establecida la llama principal, si el quemador es modulante, pasarán unos segundos antes de habilitar el presóstato modulante que hará que el quemador regule la potencia o caudal de combustible y aire a cada necesidad de producción de vapor (regulado por la presión de vapor), **pero la llama estará siempre monitoreada por el sensor de llama que dependiendo del tipo de quemador y potencia en 15 segundos** (quemadores pequeños) a **4 segundos como máximo** (quemadores medianos a grandes), **si no detecta llama, cerrará inmediatamente el combustible a la atomización** (haciendo un nuevo reciclo, según quemador).

Por lo general, si el quemador falla en una de las operaciones (luego de hacer el reciclo si lo hay), quedará apagado, habiendo por lo general una luz indicadora o alarma indicando la falla, hasta que venga el operador y apriete un botón ("reset") para rearmar el quemador a su condición normal y que comience la operación de marcha nuevamente (siendo conveniente observar si hay algún problema, que puede ser : fotocélula sucia de hollín (no detecta bien la llama), filtros de combustible sucio, falta de combustible, falta de aire de combustión (rotura de eje ventilador), mangones rotos de combustible, combustible frío, agua en el combustible, bomba combustible fallando o entra aire en la succión, falta de combustible, etc.

Generalmente deberá haber **enclavamientos eléctricos** entre los distintos elementos de operación, como ser, que la válvulas de cierre (generalmente deberán cerrar en menos de 1 segundo, como las solenoides) no puedan ser habilitadas por el programador si las bombas de combustible están apagadas, si el ventilador está apagado, tiro inducido si lo hay, etc.

De la misma manera, habrá que considerar la posibilidad de **fallas eléctricas** en los circuitos, como ser **corto-circuitos**, cables que hay quedado **a tierra**, etc, de **manera que bajo ninguna circunstancia se anule el apagado del quemador si la caldera ha quedado con bajo nivel de agua** (si se pasa de presión abrirán las válvulas de seguridad, pero si se queda sin agua, la caldera se accidenta: se quema o cualquier otra cosa relacionada, como la explosión si dan las condiciones).




El croquis superior, muestra un sistema a F.Oíl, de atomización mecánica con regulación por recirculación de retorno del combustible (en estado: atomizando), para variar su capacidad de flujo de atomización, sin afectar la calidad de la atomización

El tanque de F. Oíl en el caso de ser F. Oíl pesado, debe tener un sistema de calefacción para llevar la temperatura a por lo menos 50ºC, para bajar la viscosidad a la de bombeo en baja (generalmente una serpentina con vapor, rodeando las tomas de combustible, con su termostato y solenoide de control de temperatura).

Aquí no se han puestos los termostatos (un termostato de regulación de temperatura

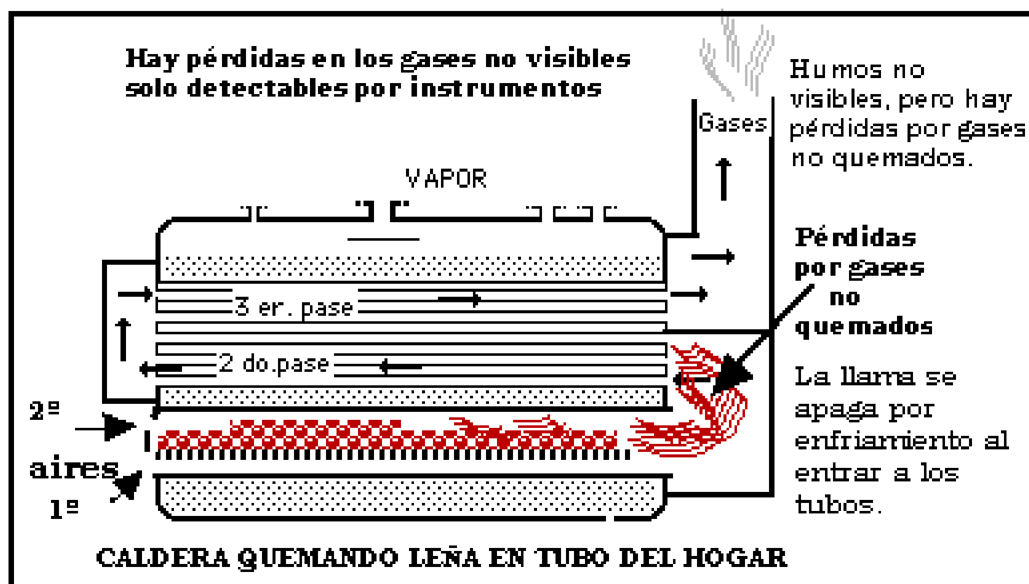
de calefacción del combustible, un termostato de corte por alta temperatura con rearme si es calefacción eléctrica y un termostato de protección por baja temperatura o " anti-smog" (humo) por si el F. Oíl está muy frío (apaga o no deja prender el quemador). Observese que hay un "anillo de baja" presión de combustible, cuya función en la calefacción y suministro del combustible y un circuito con bomba de alta para la atomización (que trabaja con el combustible ya caliente, lo que hace su trabajo difícil, dado que el propio combustible es la lubricación de los engranajes y sellos de la bomba). Hay 2 válvulas de solenoide, una normal abierta Nº6 (permite la recirculación del combustible al estar el mismo apagado, para mantener "caliente" el circuito casi hasta la lanza) y una normal cerrada Nº10 que habilita el combustible a la lanza para la marcha (habiendo otra válvula de acción mecánica de seguridad (que tiene la doble función de cerrar cuando el quemador apaga y a su vez regular la presión máxima de la bomba de alta para la atomización : Nº3). La válvula Nº8 regula la capacidad de combustión, retornando combustible, comandada por un motor modulante (que lo gobierna un presostato modulante) y que además de regula la entrada de aire de combustión para mantener la relación aire/combustible.

Las bombas de baja, deben llevar en forma permanente una válvula de alivio interna o externa, dado que son bombas de desplazamiento positivo, que si no alivian la presión al tener cerrada la mandada, levantarían tanta presión que "romperían" las cañerías o cualquier elemento que soporte la presión o aún el eje de las bombas o en mejor caso, harían saltar los térmicos del motor.

El calentador de combustible (F. Oíl), por lo general si la caldera es relativamente grande, será combinado eléctrico-vapor o dos calentadores separados, uno de vapor para marcha normal y uno eléctrico para el arranque.

El desgasificador que a la salida del calentador, permite extraer los gases y el vapor de agua evaporado por la alta temperatura (ya que la temperatura de saturación del agua es mayor que la correspondiente a la presión de baja), **si estos gases interfieren con la bomba de alta, provoca alteraciones en la presión de alta, provocando mala atomización.**

## VEAMOS COMO SE OPERAN LAS CALDERAS A LEÑA




### PUESTA EN MARCHA DE CALDERAS A LEÑA

La leña es **un excelente combustible**, cuyo contenido de carbono e hidrógeno, le dan un poder calorífico de buen nivel, aunque tiene bastante oxígeno ya integrado, el cual suponemos que ya está unido al hidrógeno (por ello la combustión a leña se parece en las medidas de sus gases a la combustión del carbón, dando un alto contenido de $CO_2$ en base seca, casi más del 20%). Los elementos más indeseables en la leña, es el agua o humedad, pero el contenido de azufre es prácticamente cero.

Debemos de aclarar que la leña que normalmente utilizamos en calderas, es la **leña de eucaliptos** (y **no la leña de monte**, que si bien es un **patrimonio nacional que no debe ser consumida, no solamente por esta razón, sino porque en su combustión produce una ceniza que se funde como vidrio, la cual tapa las grillas o parrillas, afectando la marcha de la caldera**, esto con el eucaliptos no ocurre).

Si bien la leña produce un alto contenido de $CO_2$ en sus humos, tiene la ventaja que es un $CO_2$ que el propio árbol consume en su crecimiento o formación de la madera, es decir que se produce un equilibrio entre el $CO_2$ producido y el $CO_2$ consumido, lo cual hace que no se acumule en la atmósfera, como ocurre con los combustibles fósiles (carbón, F. Oíl y otros líquidos y gases naturales y extraídos del petróleo).

**Debemos de dividir en dos casos:** calderas de **quema directa** y **quema a gasógeno**.

# Quema leña directa:




Cuando ponemos en marcha una caldera, lo primero es revisar todos aquellos elementos que intervienen en su funcionamiento:

1-Verificar que se encuentre **llena con agua adecuada** (ablandada, tratada químicamente, etc.) hasta casi el nivel normal (1/4 del nivel visual o el corte del automático de la bomba, ya que el nivel aumentará al aumentar la temperatura del agua). Para llenar la caldera cerrar todas las purgas y abrir el grifo atmosférico (purga de aire). Se supone que la válvula principal de vapor (válvula de cuello ) se encuentra cerrada.

Si la **caldera estuviera en "conserva"** por algún método seco, primero se debe **extraer los productos "secantes"** de su interior (cal viva,"silicagel", etc. ), poner tapas de visita y hacer una prueba de estanqueidad (hidráulica). Si estuviera **inundada con agua** tratada para un método de conservación húmeda, es suficiente generalmente **bajar el nivel** del agua con las purgas, abriendo el grifo atmosférico para "romper" el vacío (para que entre el aire).

2-**Verificar los controles de nivel** (abrir sus purgas y verificar que accione la bomba de alimentación, previo a abrir sus válvulas de succión y descarga, oir y ver señales de bajo nivel).En algunos casos es necesario efectuar una prueba hidráulica de "estanqueidad" (probar que no haya pérdidas de agua o vapor). Para ello se puede levantar presión de "trabajo" con la misma bomba de alimentación (en forma lenta), sacando el aire por el grifo atmosférico (el grifo atmosférico sirve tanto para sacar el aire y gases, como para evitar que se produzca "vacío" en el interior de la caldera al enfriar o vaciar la misma). Con 10 minutos de presión (todas las válvulas cerradas), observando exterior e interior de la caldera (hogar y cajas de humo) por pérdidas de agua, y que la presión en el manómetro no baje más que muy lentamente (alguna pérdida en empaquetaduras). Luego hacer bajar la presión lentamente (purga) y regular el nivel (purga y grifo atmosférico)., debemos proceder a su puesta en funcionamiento.

Recordemos que la **combustión** será **manejada con el aire que entra en el hogar**,

debajo de la "parrilla" (primario) y sobre la "parrilla" (secundario) y que dependerán de la apertura de los registros y de la depresión del hogar ("vacío" provocado por el tiro natural de la chimenea o por un ventilador de tiro inducido).

Como la carga de leña es normalmente estable (una determinada altura sobre la "parrilla": grillas), para **aumentar la combustión** debemos **aumentar el aire debajo de la leña**, de manera que se produzca una combustión cuyo calor **volatilice a su vez parte de la leña**. Este "gas de leña" **entra en combustión** con el "**aire sobrante**" que entró **debajo de la "parrilla"** (estableciéndose una llama luminosa y de alta temperatura. Lo que permite una combustión rápida del gas es el **aire ya calentado** en la zona de combustión primaria) y con el **aire** que entra por encima de la "parrilla" (**secundario**).

Muchas de estas calderas **precalientan el aire que entra debajo de la "parrilla"** aprovechando el calor de los gases de chimenea (bajando su temperatura a menos de 160ºC), de manera de **aumentar la Eficiencia de la caldera** (aprovechando mejor el calor) y **mejorando** las condiciones de **combustión** (a mayor temperatura, la combustión es "más rápida" y se puede quemar la leña de un alto tenor de humedad, más del 40% de humedad). Este **precalentamiento** se puede hacer debido a que las "**parrillas**" **son** "**refrigeradas**" (las grillas que forman la parrilla son de hierro fundido de aleación especial) que al montarse sobre tubos en que circula el agua de la caldera, permite la "refrigeración" del metal de la grilla (no dejando que su temperatura sea demasiado alta), pero a su vez permite el precalentamiento del aire y de las grillas (cuya temperatura estará por lo menos cercana a la temperatura del agua de la caldera). El aire se puede entonces "precalentar" sin correr el riesgo de "quemar" las "parrillas" (grillas) a temperaturas de más de 150ºC. (aumenta la velocidad de reacción de la combustión, lográndose que esta se produzca antes de abandonar la cámara de combustión).

El hecho de que el aire primario sea precalentado (con o sin precalentador de aire), hace que este aire juegue un papel fundamental en la combustión completa o total, siendo el aire secundario utilizado solamente el los régimenes altos de vaporización.

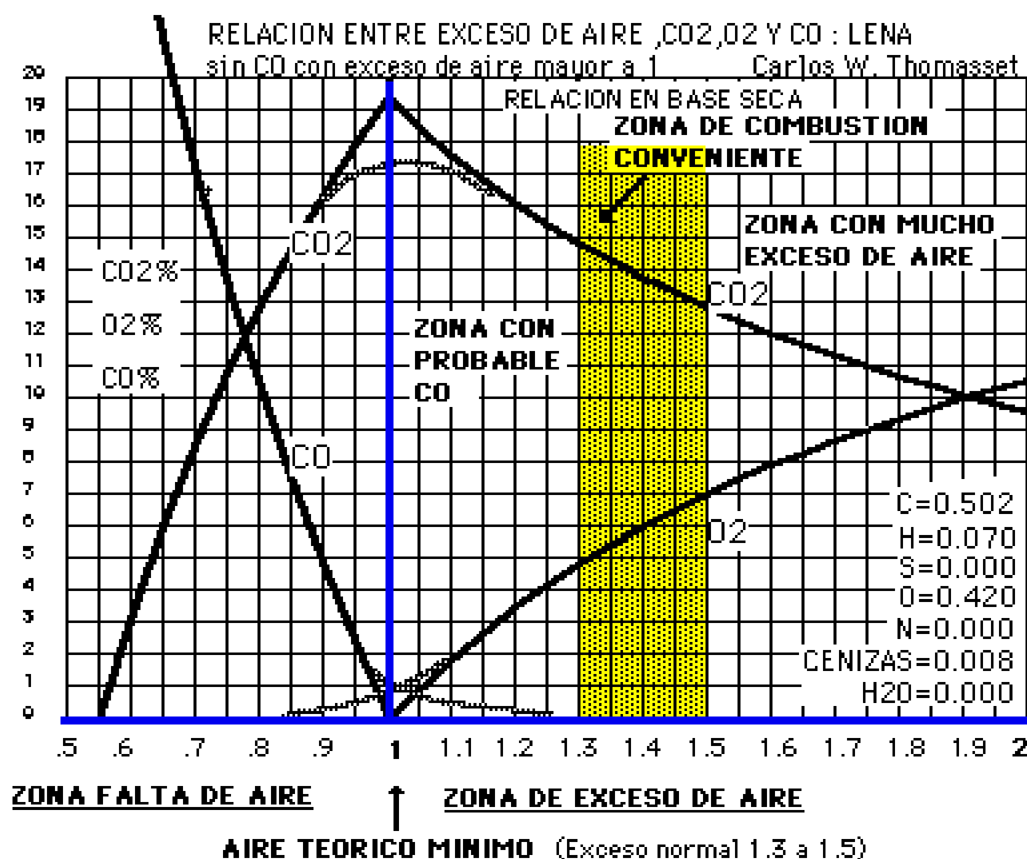
La combustión del carbono y el hidrógeno, se cumple en diferentes etapas. Inclusive la humedad de la leña (siendo poca) es favorable a esta combustión, ya que la misma interacciona con el carbono a altas temperaturas y provoca una gasificación en el lecho de combustión, que favorece la formación de la llama (la llama luminosa es muy favorable para la transmisión del calor por radiación).



**Puesta en marcha:**

Es importante proceder a un correcto "barrido" del hogar con aire (abriendo el tiro inducido y los registros 1º y 2º ) y **no utilizar bajo ningún concepto combustibles líquidos que puedan gasificar** (cuidado que si la parrilla esta caliente: el Gas Oíl, Aceites o aún el F.Oíl podrán gasificar), **Mantener siempre una depresión en el hogar** y un pequeño "barrido" **(siempre que trabajemos con apertura del hogar debemos de mantener una depresión: nunca abrir el hogar con el tiro cerrado y/o el tiro inducido apagado.** Puede que con el aire que entra por la boca de carga provocar una ignición de los gases en el interior del hogar al no haber barrido de gases), mientras ponemos elementos **combustibles secos o humedecidos con combustibles pesados si no hay temperatura** (cartones, estopas, cáscaras, papeles, leña astilladas, etc.). Con un hisopo prender la base de estos elementos e ir agregando leñas (rolos finos, costaneras, etc.) hasta poder agregar rolos de suficiente tamaño. No hacer un fuego "grande" con la caldera fría, calentar suavemente de manera uniforme toda la caldera. Al principio trabajar el fuego con "exceso de aire " (manteniendo el tiro abierto y dando aire con los registros 1º y 2º, debido a que el hogar esta frío la combustión no será buena). **Una caldera fría debe ser calentada en varias horas** (2 a 8 horas, dependiendo de la caldera) y si la caldera estuviera parada del día anterior será suficiente un par de horas (1 a 2 horas , dependiendo del tipo de caldera).

**Reitero, no introducir combustibles líquidos "tirándolos" por la boca de carga**, ya que se puede provocar una explosión de hogar (al gasificar y mezclarse con el aire en el interior del hogar forma una mezcla explosiva) **ni abrir la boca de carga con el tiro cerrado** (natural o inducido) **o el ventilador del tiro inducido apagado** (no existiendo suficiente tiro natural).



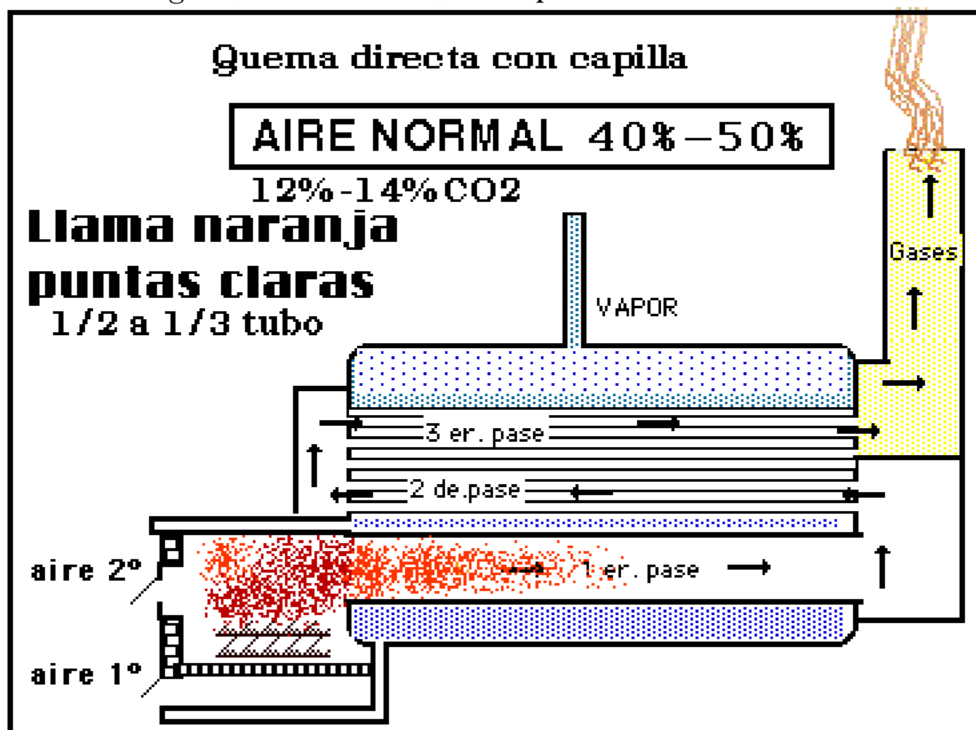

## Regulación de la combustión en la quema directa :

1- **Falta de aire**: como no se presentan **humos** negros (generalmente **apenas blanquecinos, como "vapores"**, o si la falta de aire es muy notoria puede hacer humos algo negruzcos) la **medición de los gases** juega un papel **importante,** ya que no habiendo humos puede haber un CO2 del 16% a 18% con presencia de CO en forma importante (por cada 1% de CO la pérdida por gases sin quemar en chimenea puede ser de más del 5% ). A veces es preferible mantener el CO2 entre 14% y 16% para evitar la posibilidad de formación de CO (ya que además de la pérdida de energía, junto con el monóxido de carbono van alquitranes que tienden a ensuciar las superficies de intercambio). Puede haber una falta real o aparente del aire. Ambas son provocadas por la utilización de leña con **mucha humedad** (más del 35% de humedad), hogar con **carga de leña en exceso** (no permite la entrada de aire bajo la parrilla en forma pareja y se produce "destilación"), **exigir demasiado** la capacidad de la caldera, **aires mal** regulados, **"parrillas" tapadas** de cenizas (por falta de limpieza), falta de **remoción o atizado de la leña** sobre la "parrilla", **caldera sucia** con pasajes de aire restringidos: tubos tapados, sucios de cenizas , etc..

La **cantidad de combustión se regula** con la **cantidad de aire que forzamos** (o succionamos con el tiro) **debajo de las grillas** ("parrilla"), para una altura dada de leña. Con el **aire secundario regulamos el largo de la llama** (completamos la combustión en régimenes altos) y con **el tiro inducido** (o natural) **mantenemos una depresión en el hogar** (- 3 a - 5 mm.c.a. : milímetros de columna de agua) de manera de manejar el

volumen resultante de los gases de combustión (y la succión del aire primario y secundario si no hay forzadores).

Para mantener una **idea práctica de la combustión**, debemos **observar el fuego** en el tubo central del hogar o sobre el banco convectivo (caldera acuo-tubulares). La combustión **no debe llegar al fondo del hogar** o al banco convectivo, **debe terminar antes de que la llama se enfrie**. Al medir los gases de chimenea, es conveniente disponer un **triángulo de OSTWALD** para leña y así poder comprobar que las 3 lecturas cierran en un punto del triángulo (son coherentes).Ver capítulo de Eficiencia.




2- **Buena combustión :**

En este caso no se ve prácticamente **nada en la chimenea** (un leve velo vaporoso o nada), el $CO_2$ estará entre 14% y 16% , el $O_2$ 3,5% a 6%, el CO será 0%.

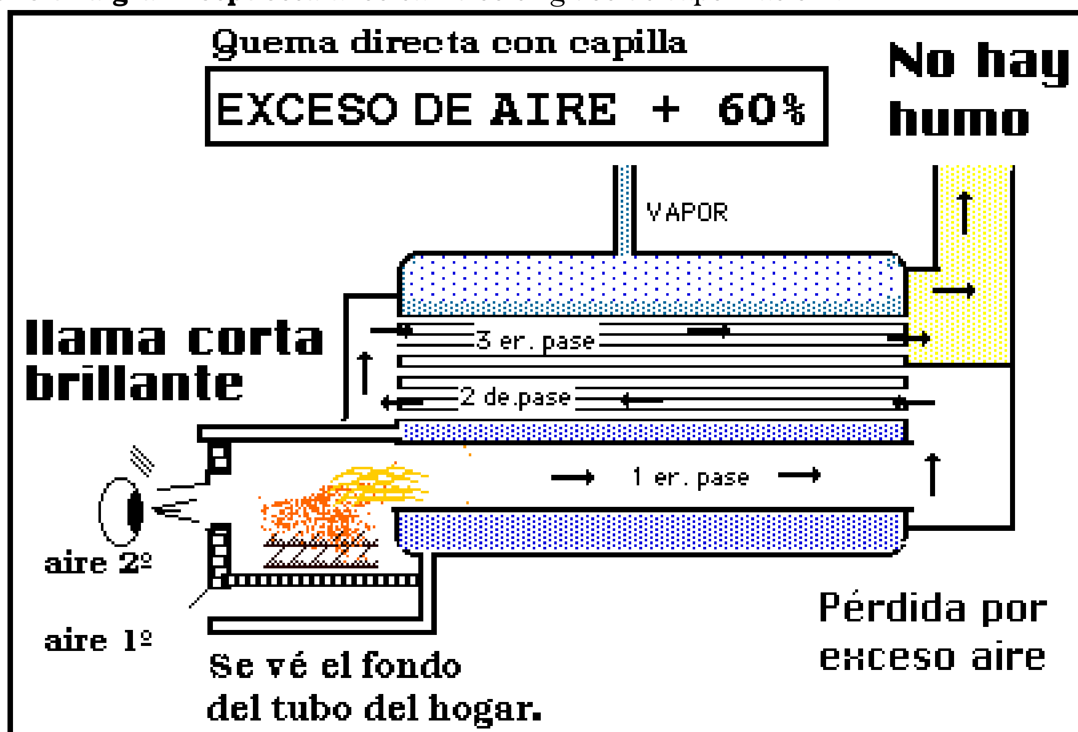
**Observando la llama como guía**, esta **debe entrar en el tubo central** del hogar **hasta la mitad** del mismo ( en el banco convectivo de las acuotubulares, **debe de "lamer" los tubos**).

**Regule con el aire secundario y/o la carga de leña para acortar o alargar la llama.** Para **mantener estos valores** es aconsejable **cargar en períodos cortos**, **remover la leña** entre períodos, usar **leña relativamente seca** (25% a 30% de humedad), **no sobrecargar** el hogar con leña, mantener la "**parrilla**" **(grillas) limpias**, siendo muy conveniente que la **depresión** del hogar (tiro inducido) y el **aire primario** (forzador bajo grilla) **sean automáticos** (la depresión del hogar entre -3 a -5 mm.c.a, con sensor de depresión comandando el tiro, modulando una válvula de gases de mariposa o persiana, etc., y la alimentación forzada bajo grilla comandada en forma modulante con la presión del vapor : al bajar la presión aumenta el aire y viceversa). La automatización permite un marcha muy regulada, quedando sólo el manejo de la leña y del aire secundario (que también se puede automatizar).

De todas maneras si la presión llega a un máximo, cerrando los aires y gases, un presóstato apagará el tiro inducido y el forzador bajo grilla.

**Recuerde: no abra la puerta de carga ni las tapas de observación estando los tiros apagados.**

En caso de que la presión debido a una inercia térmica subiera por encima de la presión de trabajo, saltaría la primer válvula de seguridad o válvula de servicio de línea. Como la quema directa tiene una gran vaporización en la cámara de combustión (la "capilla" se encuentra expuesta al calor radiante y vaporiza desde un 40% a un 60% ), la caldera **tiene una gran respuesta** a los cambios exigidos de vaporización .

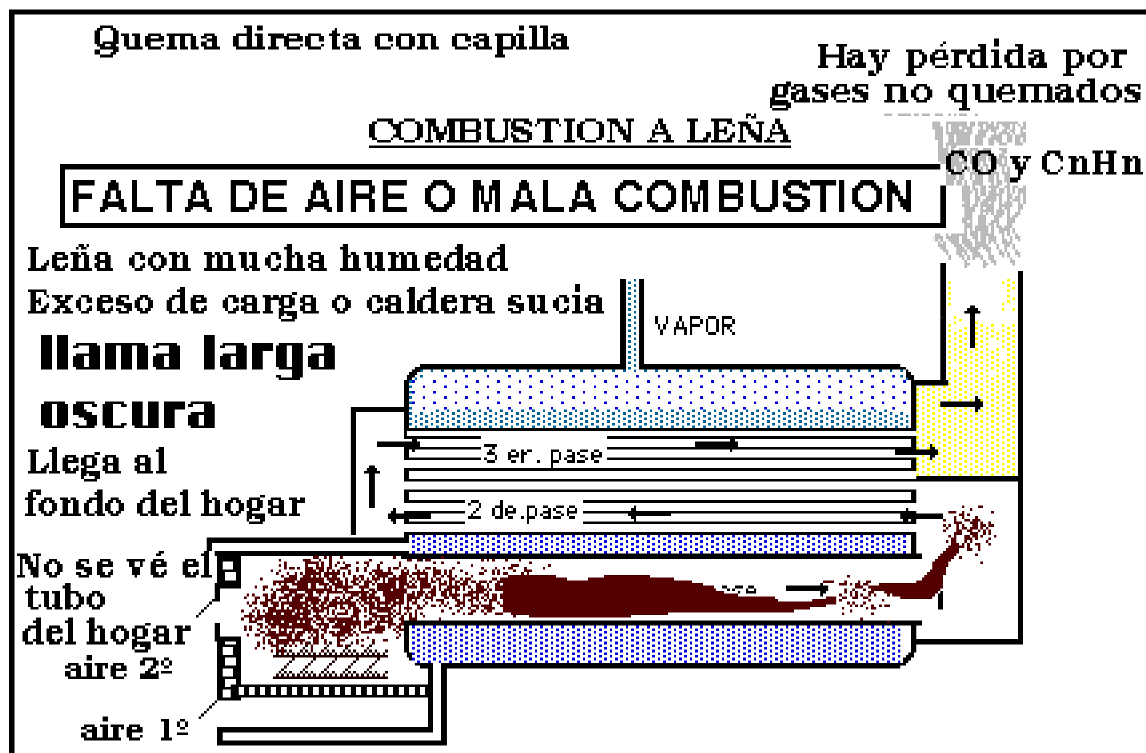



3- **Exceso de Aire:**

En este caso, en la **chimenea** no se observa **nada** (solo gas caliente). El CO2 estará por debajo del 12%, el O2 por encima del 8% y nada de CO (podrá haber algo de CO en algunos casos: llama fría). La observación de la **llama: se ve muy corta**, el **tubo central del hogar vacío** de llama. La **causa** de ésto se debe a: **carga** de leña muy **baja**, "**parrilla**" **mal tapada** de leña, **entrada de aire** exagerada por encima de la "parrilla", **depresión** del hogar **muy alta** (más de 5 mm.c.a.), **no** "**atizado**" de los fuegos, **mala regulación** de los automáticos de los aires, entradas de aires indebidas, etc..

4- **Mala combustión:**

La mala combustión **puede existir** a pesar de que la **cantidad** de **aire** y de **leña sea la correcta**. La llama podrá ser larga en determinados momentos y corta en otros y generalmente se puede deber a **leña excesivamente húmeda** (más del 40% de humedad, es necesario más exceso de aire a medida que aumenta la humedad), **cargas demasiadas espaciadas** (esto obliga a sobrecargar la parrilla produciendo en los primeros momentos falta de aire y al final exceso de aire), leña **no** "**removida o atizada** ", **aires mal regulados o oscilantes**, **caldera sucia**, etc




**<u>Para parar una caldera de combustión directa</u>,** es suficiente: **cerrar** bien todos los **aires** (especialmente las entradas al hogar y el tiro: al no haber oxígeno no habrá combustión). A veces es conveniente dejar una pequeña depresión natural en el hogar para evitar la pérdida de gases a la sala de caldera. Si la caldera se para definitivamente o hasta el día siguiente: se debe **disminuir la carga de leña** unas **horas antes** de manera que terminada la jornada no quede casi leña en el hogar, dejando consumir suavemente lo que quede (no debiendo inquietar si es necesario dejar un escape de vapor para limitar la presión. Generalmente no es necesario, ya que si la presión sube por encima de la de trabajo, las válvulas de seguridad o la de alivio de línea se encargarán de bajarla). Lo que **no** se debe hacer es **cortar la alimentación de agua** bajo ningún concepto y **no** tratar de **despresurizar la caldera** tirando vapor a la atmósfera en forma indiscriminada.

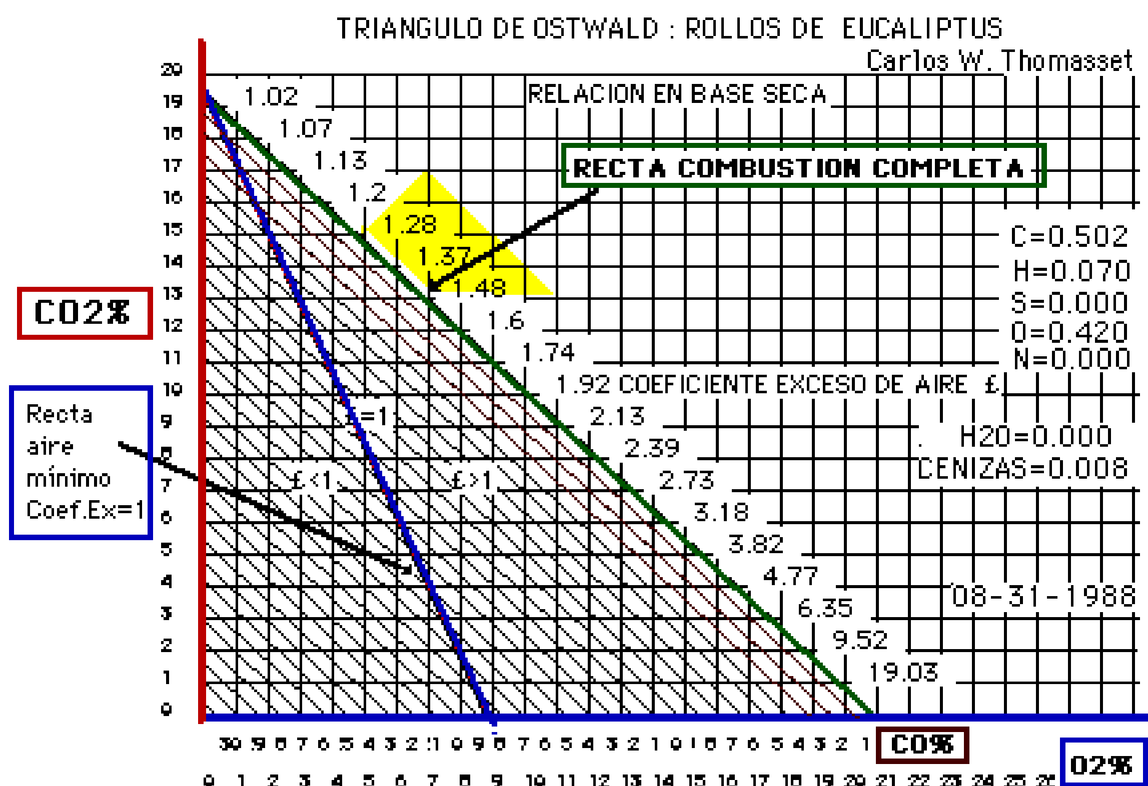
En las **calderas** a combustibles **celulósicos** (leñas, cáscaras, etc.) **es importante disponer un sistema de alimentación de agua auxiliar** (que no dependa de la energía eléctrica, como puede ser, un inyector a vapor o un "burrito": bomba alternativa a vapor). Este sistema auxiliar debe ser usado cuando hay cortes de energía eléctrica (o en fallas de la alimentación normal), pero, la válvula principal de vapor debe ser cerrada (si faltase alimentación con más razón) y los aires cerrados para mantener la producción de vapor a cero (no olvidar que la planta no funcionará normalmente al no haber energía eléctrica, a pesar que si se quiere se puede seguir vaporizando con el tiro natural y esta alimentación auxiliar).

Los **inyectores de vapor deben ser alimentado**s con **<u>agua fría</u>** y preferiblemente **ablandada** (ya que la utilización con agua caliente del mismo tanque de alimentación puede no dejar funcionar el inyector debido a que su funcionamiento se debe a la condensación del vapor: transformación de la energía térmica en energía dinámica, y que el uso de

aguas duras pueden provocar incrustaciones que bloqueen los pequeños orificios y conductos que los componen). Las bombas alternativas de vapor ("burritos"), tienden a "endurecerse" ("engriparse") por estar parados en la mayor parte de su tiempo y deben ser puestos a prueba en forma seguida (diaria o semanal) y utilizar los lubricantes adecuados (ya que el contacto con el agua y el vapor tienden a afectar a los lubricantes no "especiales" a esta función).

Las **calderas** que tengan **calentadores de aire**, se verán muy **beneficiadas en la combustión** y en la **recuperación de calor** (Eficiencia ). Pero estos calentadores recuperadores deben de ser **limpiados en forma periódica** (una vez o más por mes ) del **lado de gases** (es muy beneficioso la utilización de **agua caliente para la limpieza de ceniza depositada)**, pudiendo en algunos casos instalarse un **sistema de lavado con agua caliente con la caldera en funcionamiento**, evitando así parar la caldera. (La misma agua de alimentación puede ser usada ).

DIAGRAMA DE OSTWALD PARA LEÑA



## Quema de leña por gasógeno :




**El gasógeno debe ser prendido con mayor cuidado que la quema directa.** Se deben tener todas las precauciones anotadas anteriormente, a las que hay que sumar el hecho de que tenemos una **combustión primaria** y luego el **gas producido se debe quemar** en una **combustión secundaria separada de la primera** en el hogar de la caldera. **Primero se prende el gasógeno**, haciendo funcionar el tiro. En el primer momento la combustión en el interior del gasógeno será total con muy poca formación de gases (hay un exceso de aire en el interior del gasógeno debido a la relativa combustión de comienzo). Luego se verá que **la temperatura de los gases de entrada a la cámara** de combustión de la caldera empieza a **subir** (indicando que el volumen de gasificación empieza a ser importante), aumentando posteriormente el aire primario (y la carga de leña) la **riqueza de los gases** (CO y otros ) **aumenta.** En este momento se debe tener una **llama piloto en la cámara de combustión de la caldera**

(generalmente a gas de garrafa o quemador auxiliar a gas-oíl) que **se mantendrá prendido**. Dando **lentamente aire secundario** se logra que entre la producción de **gas del gasógeno** y el **aire secundario** que se hace llegar (generalmente algo calentado si la caldera esta caliente o frío si la caldera esta fría) **se establezca una llama secundaria estable** (al principio se producirá una llama muy **poco estable**: pocos gases y aire frío, con tendencia a producir "pulsaciones").

En algunos gasógenos, si bien hay combustión secundaría, por ser la unión entre la caldera y el gasógeno de gran sección y corto pasaje, la combustión secundaria es en realidad una "prolongación" de la combustión primaria, no necesitándose en estos casos la presencia de llamas pilotos.

La **llama secundaria** se podrá chequear por las mirillas. En la chimenea al principio se notan muchos gases "sucios" que luego desaparecerán (a medida que la temperatura de los gases que entran en la cámara de combustión secundaria aumenta, la llama se estabiliza). La **regulación** del **aire secundario** se debe hacer por **instrumentos** o mirando una "**llama** " **poco visible** (de color pálido azulado), tratando que la misma se ejecute sin llegar al "fondo" del hogar (ya que al entrar a los tubos de humo se apaga, ensuciando los mismos muy rápidamente, subiendo la temperatura de chimenea y restringiendo el pasaje de gases a los pocos días) y la **cantidad de aire secundario** estará en **relación** a la cantidad de **aire primario** (de acuerdo a la necesidad de vaporización de la caldera). La **carga de leña** se **regula** por la **altura** de la misma y por la **temperatura de los gases a su salida** en el gasógeno (ya que la misma refleja la altura del "lecho" de astillas o rolos cortos sobre la "parrilla", bajando con una sobrecarga -gas muy rico- o subiendo momentáneamente al bajar el "lecho" hasta cierto valor y luego bajando por falta de combustible para gasificar: recordar que la gasificación perfecta produciría 1/3 aprox. del calor disponible en el interior del gasógeno). **Se debe tratar** de **no dejar bajar el** "**lecho**", ya que se producen **altas temperaturas** (por la alta velocidad del aire localmente) y no se deben extraer las cenizas totalmente, ya que se pueden "**quemar**" **las** "**grillas**" (soporte normalmente giratorio). La **llama secundaria** debe ser "**monitoreada**" **permanentemente** y en el caso que deba apagarse, el **reencendido debe ser piloteado**_ (restableciendo el aire secundario lentamente) o de lo contrario se producirán **explosiones o llama inestable** en el hogar. En algunos casos no se necesita llama piloto (reencendido directo desde el gasógeno).




**La combustión se regula con el aire primario y el aire secundario a la vez, debiéndose tener en cuenta la carga de leña , ya que cualquiera de los 3 elementos puede afectar la condición de un buen rendimiento** (a más necesidad de combustión, se necesitan más gases -aumentando el aire primario -para quemar en el hogar con más aire secundario).

**TEMPERATURA , LIMITES DE INFLAMABILIDAD Y VELOCIDAD DE LLAMA DE LOS GASES:**

## TEMPERATURA DE IGNICIÓN EN EL AIRE:

| | |
|---|---|
| Hidrógeno | 580ºC-590ºC |
| Metano | 650ºC-750ºC |
| Etano | 520ºC-630ºC |
| Monóxido de Carbono | 644ºC-658ºC |
| Gas-Oil | 336ºC |
| Carbón ordinario | 400ºC-425ºC |

+ 600 ºC

- 600 ºC

**UN GAS NECESITA MAS TEMPERATURA**

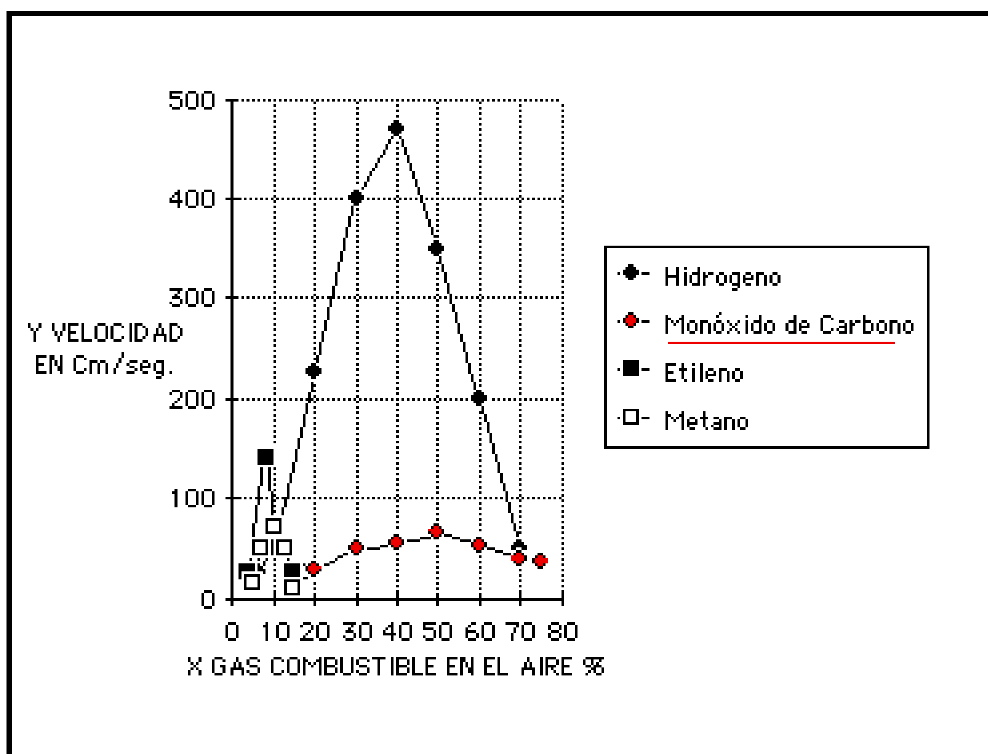
## LIMITES DE INFLAMABILIDAD EN EL AIRE:

| | Limite inferior | Limite superior |
|---|---|---|
| Gas de carbón | 5,3% | 31% |
| Benceno | 1,4% | 7,5% |
| Gas de alto horno | 35,0% | 74,0% |
| Monóxido de carbono | 12,5% | 74,0% |
| Hidrógeno | 4,0% | 75,0% |
| Metano | 5,0% | 15,0% |

**Dado que la leña en el gasógeno, es transformada en un gas a una temperatura variable entre 400ºC y 700ºC** (dependiendo de la carga de leña de gasógeno y la cantidad de aire primario que circula entre la leña, habiendo poca transferencia de calor en el cuerpo del gasógeno)**, debemos de considerar que quemar un gas no es tan fácil como parece en primera instancia, ya que para que la ignición se produzca debe haber condiciones mínima y máximas** (y cada gas tiene una velocidad de combustión también relacionada a estos parámetros), **en el manejo del gasógeno: (altura de la leña, calidad de la misma-como la humedad, la putrefacción, las cáscaras, etc., la relación de aires primarios y secundarios en la cámara torsional, juegan un rol fundamental.**

## EL % DE GAS INFLUYE EN LA COMBUSTION

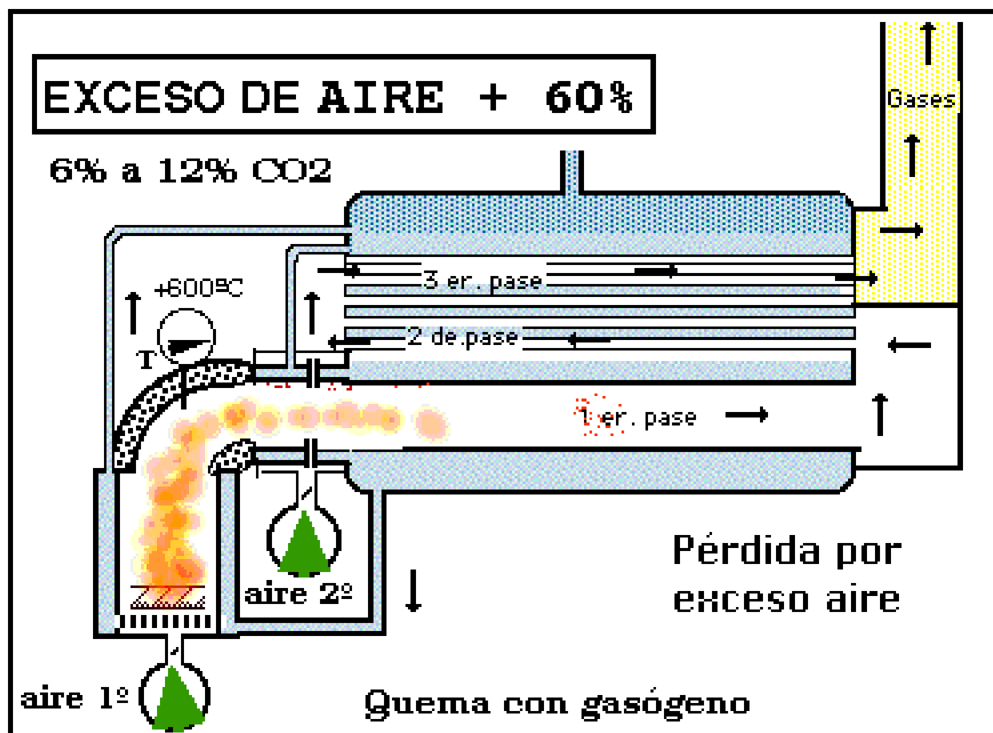
### VELOCIDAD DE LLAMA EN LOS GASES




## LA VELOCIDAD DE COMBUSTION DEL CO ES BAJA A CUALQUIER CONCENTRACION

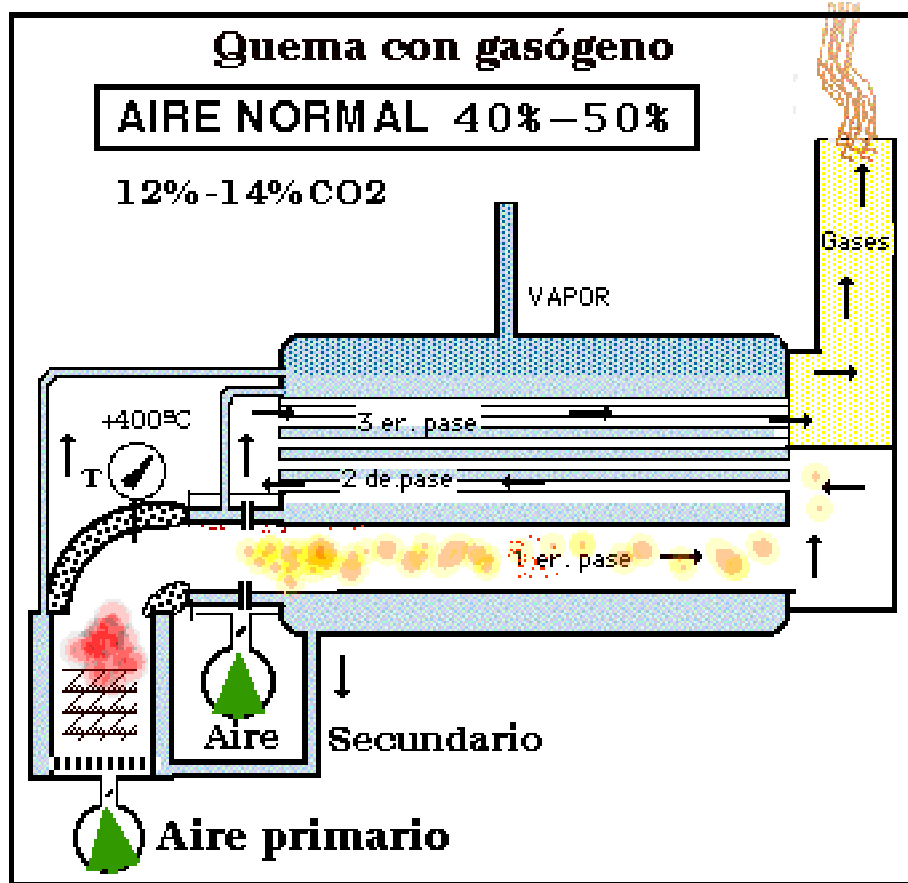
**Como vemos en el gráfico superior, las velocidades de combustión en los distintos gases es variable con la concentración, siendo la más baja la correspondiente al CO (monóxido de carbono), que vemos que a medida que se enfría y disminuye su % en la mezcla de gases, tiende a frenar su combustión, saliendo por la chimenea como una pérdida contaminante si no logramos hacer la combustión en el interior de la cámara torsional** (de aquí la importancia que le doy a tener un medidor en chimenea de O2 y "gases no quemados", para controlar en forma lo más técnicamente posible la combustión sea completa).

## Regulación de la combustión por gasógeno a leña:




1-**Exceso de aire :**

La **llama secundaria** muy corta , **hay fuego** (llama luminosa ) en el interior del **gasógeno** , el CO2 es menos del 12% , el O2 más del 8%. No hay humos en chimenea y la temperatura de los gases combustibles es alta (si hay suficiente leña en el gasógeno). Al usar instrumentos para medir los gases de chimenea es conveniente utilizar un **triángulo de OSTWALD** para leña, para verificar que las lecturas cierren en un "punto": así se puede establecer que es correcta la medición.



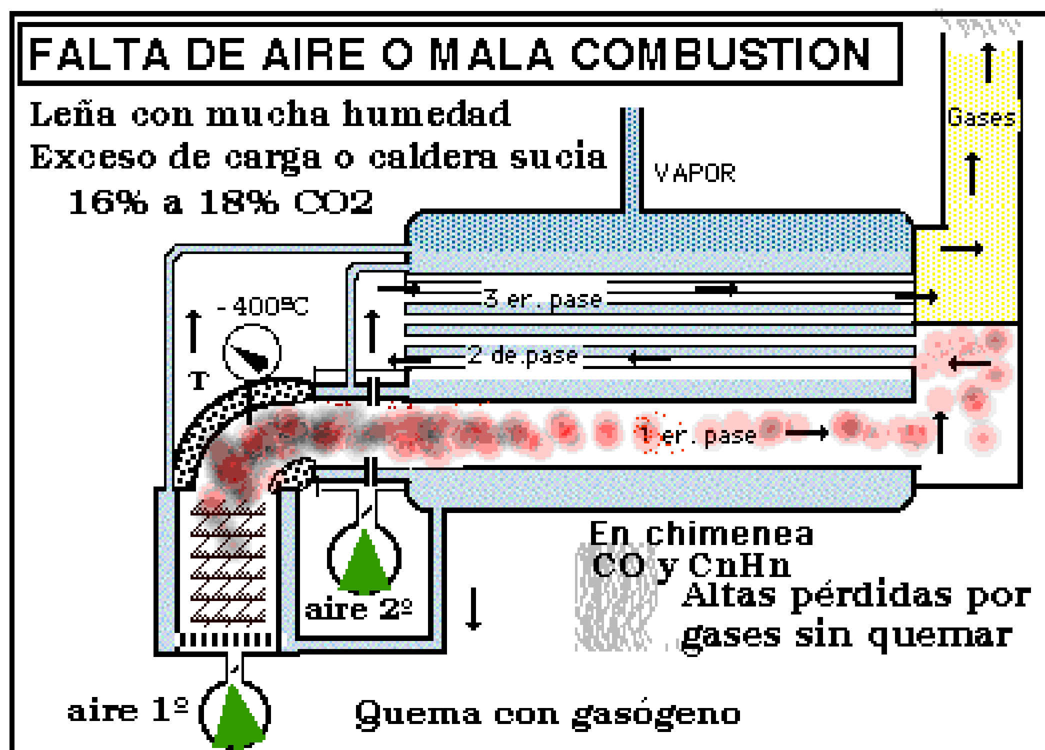

2-**Buena combustión:**

En este caso, **no hay humos**, la **llama secundaria** llega hasta **casi el final del hogar** de la caldera (aunque el final de la llama es casi imposible observar), la **carga** del gasógeno es **correcta** (altura), la temperatura de los gases es de un valor intermedio , el CO2 es más del 14% , el O2 es menos del 6% y **no debe haber presencia de gases no quemados** (CO% igual a cero). El monitoreo de la llama en forma práctica se hace difícil debido a la falta de luminosidad en la combustión secundaria, por lo que se debe tener mucha experiencia para lograr estos valores. La afectan las condiciones que hemos dado en general para la leña, pero la humedad de la leña es menos tolerable (aconsejándose no trabajar con leña con más del 30% de humedad, leña limpia de eucaliptos , preferiblemente sin cáscara ).

3-**Falta de aire :**

En este caso, se notan **algunos humos blanquecinos** (a veces negruzcos si la falta de aire es muy grande ), el CO2 en más del 16% , el O2 es menos del 3,5% y **hay presencia de gases no quemados** (**CO, acompañado por**

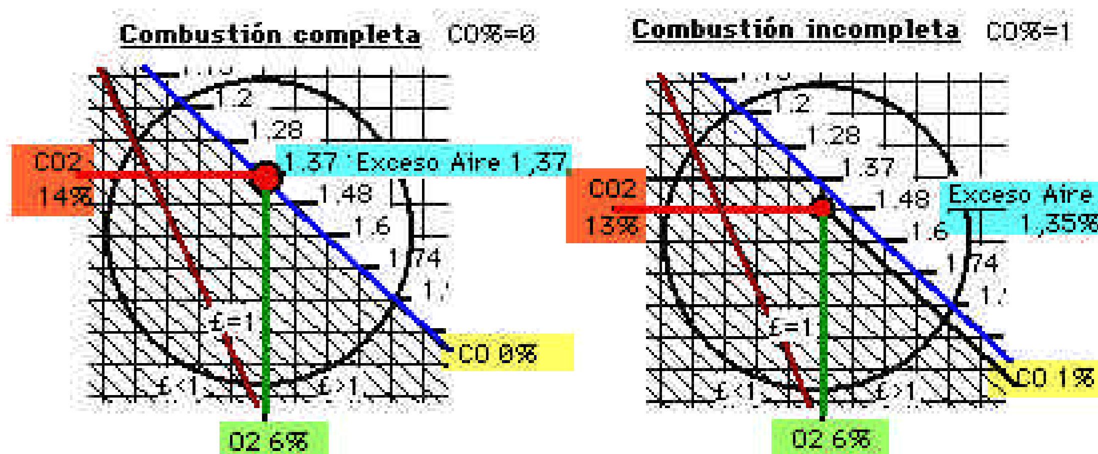
**volátiles y alquitranes que tienden a ensuciar la caldera y a "corroer" la chimenea metálica: zonas frías**). La **llama secundaria** se ve "**sucia**", **muy larga** (toca la mirilla posterior). La **causa más común** de esta situación es la **falta de regulación** de los aires y la carga de leña: **sobrecarga**, **humedad de la leña**, **calidad de la leña** (leña sucia, mucha cáscara, etc.), **caldera sucia**. Esta situación hace que en pocos días la caldera se ensucie y pierda capacidad de vaporización y combustión (por falta de transferencia y pasaje de gases, esto se nota al subir muy pronunciadamente la temperatura de chimenea, que hace bajar la Eficiencia de la caldera).




4-**Mala combustión:**

En este caso, a pesar de ser **la cantidad total de aire la necesaria**, por razones de ajustes, **no se logra la combustión total**, quedando **gases sin quemar** que son detectados en la chimenea (CO) y se **produce el ensuciamiento rápido** de la caldera (con elevación de la temperatura de los gases de salida y bajando la capacidad de vaporización de la caldera). Una de las **causas** que más afecta esta condición, es la **humedad de la leña** (más del 30%) que provoca que la **combustión** secundaria sea **muy fría** y necesite **mayor tiempo** en el hogar (llegando al final del hogar sin terminar su combustión). **Otra causa es la sobrecarga** de la capacidad de la caldera y como **la vaporización depende fundamentalmente de la llama secundaria**, ya que en el **gasógeno la transferencia es mínima**. Al

verse disminuida la respuesta por esta razón, la caldera tiende hacer sobrecargada de combustión para lograr recuperar la presión, no siendo en estas condiciones la cámara de combustión secundaria lo suficientemente grande como para "dar" el tiempo necesario para finalizar su combustión, sobrando oxígeno y gases sin quemar. Esta característica obliga al encargado de la caldera a permanecer atento a las necesidades del consumo de vapor, siendo necesario que prevenga estas situaciones con antelación.



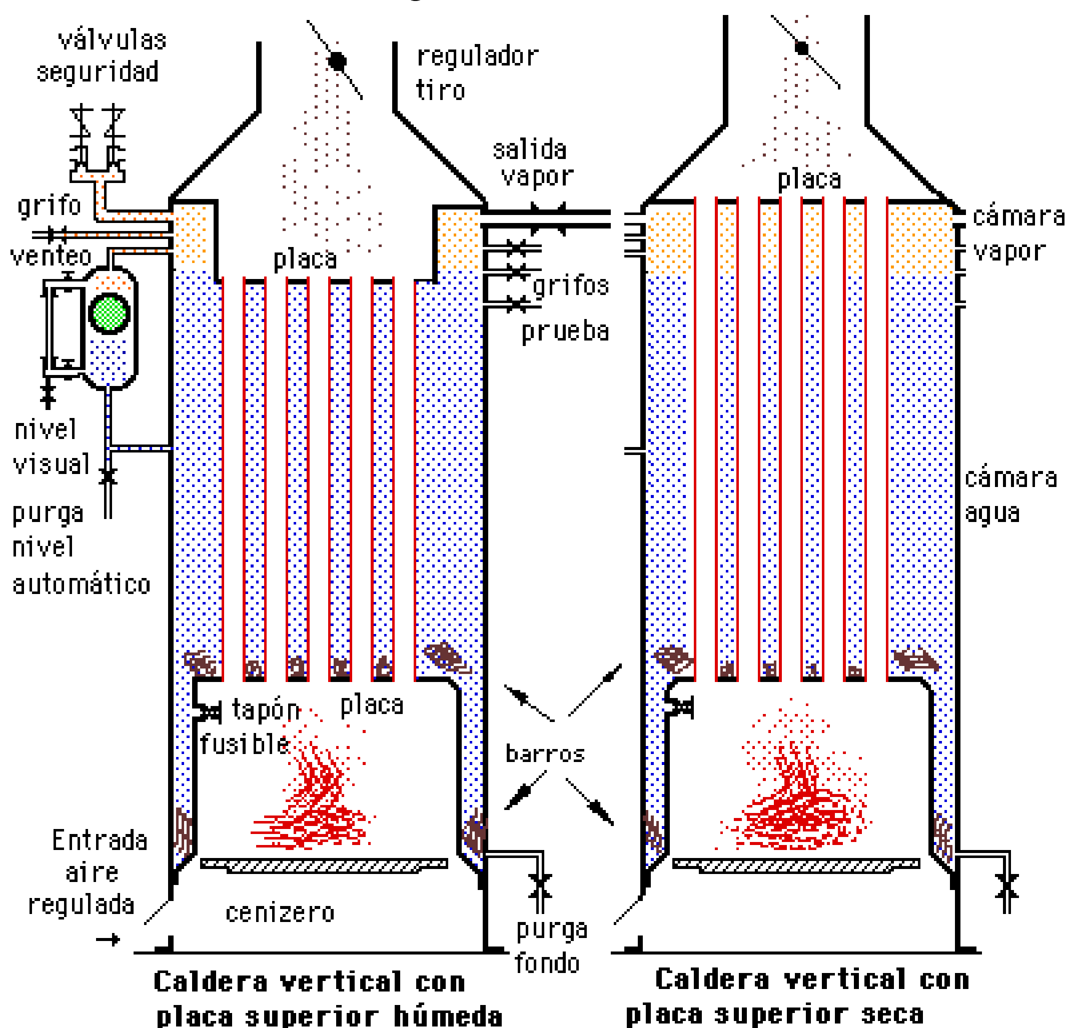

El las gráficas anteriores (partes de un triángulo de OSTWALD de leña) , se indica la condición de combustión completa ( CO=0%) y la condición en que la combustión no es completa (CO%=1) aunque sobre el O2 (oxígeno), esto en las calderas a leña y de gases (como el gas natural), **hace que se produzcan pérdidas muy importantes por gases sin quemar (que por cada 1% de estos gases que se midan en chimenea se puede estar perdiendo más de 4% del combustible por la chimenea.**

Para **parar la caldera** se sigue los comentarios anteriores en la quema directa, cuidando que bajo ninguna circunstancia quede leña sin quemar sin ser atendida la alimentación de agua de la caldera, si es necesario volver a prender, tener la precaución de "barrer" los gases y formar gases nuevos antes de prender la llama piloto y dar aire secundario. (Seguir las instrucciones del fabricante).

Al **parar** es conveniente dejar "asentar" unos minutos los barros (la válvula de vapor estará cerrada) y **purgar de fondo** (especialmente el gasógeno que tiende a juntar barros debido a que su circulación no se establece en fase líquida: tipo sifón) y los controles de nivel (como todas las calderas)."

**CALDERAS VERTICALES (HUMO-TUBULARES)**

**Si consideramos las calderas verticales,** en este caso **por lo general serán de 1 pase** (un pase de hogar por lo general muy corto y un pase de tubos, aunque antiguamente eran prácticamente solo un hogar cilíndrico vertical con algunos tubos de gran diámetro que "atravesaban" el hogar en forma inclinada, para dejar "caer" los barros, ya que recibían el calor de la llama del hogar y podrían quemarse por falta de enfriamiento al taparse con barros), **ya que el hogar y los tubos tienen la misma dirección** (aunque hay calderas verticales de más de un pase, pero no son muy comunes). Veamos un esquema para la combustión de leña (de un pase) quemando en el hogar de la caldera, y evaluemos su comportamiento en general.




En las calderas a verticales a leña, por lo general de baja producción de vapor (quizás el común sea hasta unos 1.000 Kg./hora) **tienen su ventaja y su contra.**

**Su primera ventaja** por lo general **es el costo inicial de la caldera** (de menor costo) **y su gran facilidad de instalación** (por lo general solo requieren un piso plano que soporte su peso y una salida para la chimenea en el techo).

**Su primera desventaja es el bajo rendimiento o aprovechamiento del calor**. Al ser

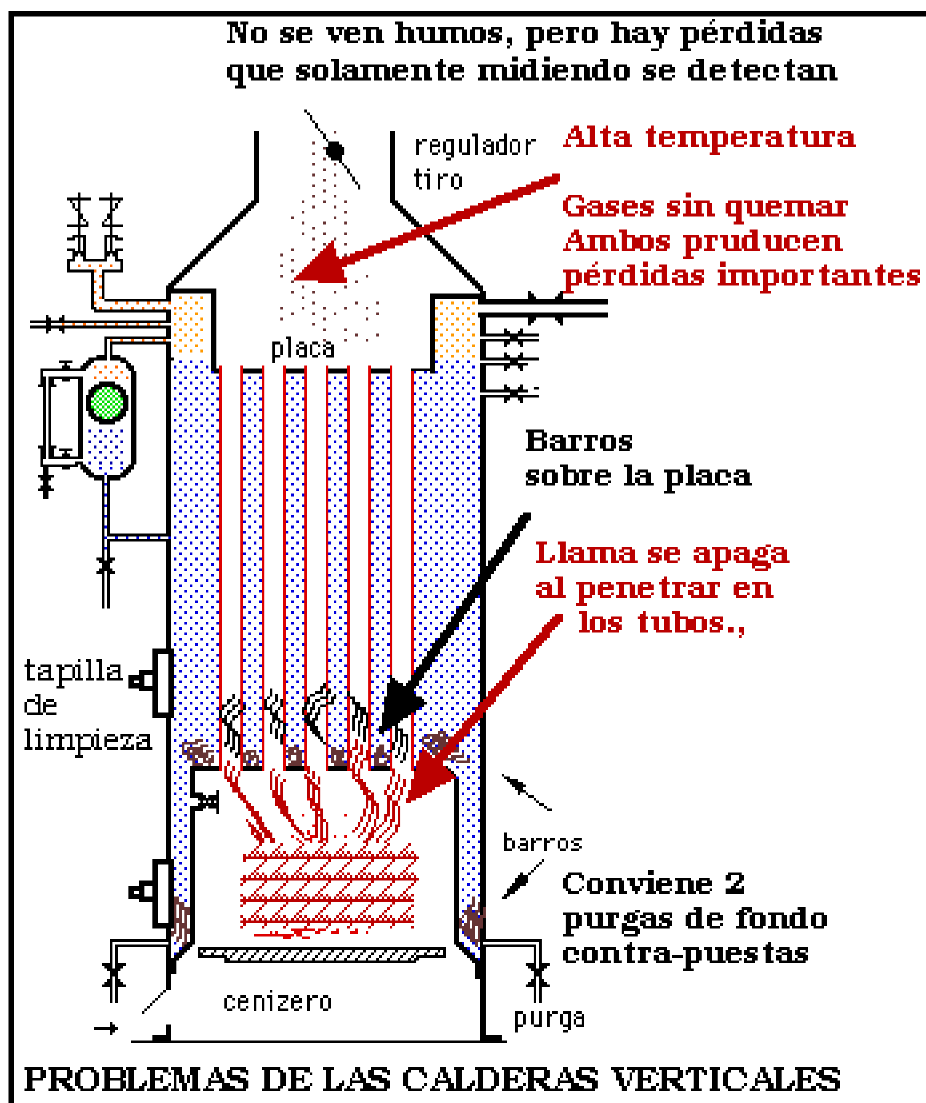
de un solo pase (limitado en el trayecto de los gases), **al ser verticales de un solo pase el tiro de chimenea es muy pronunciado** (aunque se puede regular perfectamente), **el tiempo de "residencia" de los gases en la caldera es muy bajo**, con lo que **la transferencia de calor es baja** y la **temperatura de los humos a la salida de la caldera es alta** (en dos calderas cuya temperatura de chimenea sean diferentes en las mismas condiciones de combustión y combustible, la caldera de menor temperatura en los gases de chimenea tiene mejor aprovechamiento del calor -mayor Rendimiento-porque el calor perdido por la chimenea es directamente proporcional a la temperatura de los gases).

**En el caso de la leña, las calderas verticales de un solo pase, por lo general, dan menos de 4 kilos de vapor por kilo de leña seca** (con 25% H.b.h., y próximo a los 3 kg/kg. leña en la mayoría de los casos, por la pérdida que explicaremos a continuación).

**Pero hay una pérdida que no la tienen en cuenta, es que los tubos están "tan sobre encima" de la combustión que "succionan" la llama** (la llama son los gases combustibles de la descomposición de la leña por el calor, gases orgánicos en distinta etapa de transformación, entre ellos el CO), **como hemos dicho, la llama al entrar en el interior de los tubos, se "apaga" y aparece una pérdida muy importante por "gases no quemados"** (que se pueden medir en la chimenea, pero no se observan porque, dado que los gases de leña no dan humo como el F. Oíl, lo mismo pasa con el gas natural y de garrafa). **Esta pérdida por "gases no quemados" en algunos momentos puede ser muy importante** (cuando la caldera funciona en cargas altas, cuando tiene "mucha" leña en hogar, cuando la humedad de la leña es alta, cuando se trabaja con poco exceso de aire, etc.). **Decíamos que por cada 1% de monóxido de carbono** (CO) **en chimenea se perdía entre un 5% a un 7% de la leña, pero además la caldera se "achica"** (esto se debe a que la llama pierde temperatura en el hogar por lo que transmite menos el calor, la leña ocupa gran parte del hogar que deja de "absorber" calor al tapar, ensuciar, las superficies de transferencia, la caldera se ensucia rápidamente lo que hace que la temperatura de chimenea suba y se pierda más calor, etc.).

El otro problema que se debe contemplar, es que **si la caldera vertical es de placa "seca"** (la placa superior está en la cámara de vapor, con parte de los tubos sin ser refrigerados por el agua de la caldera) **hay grandes posibilidades de aflojamientos y fisuras de tubos, y fisuras de la placa entre agujeros de tubos.** Este problema ocurre, por lo general, en el momento de puesta en marcha. Al no haber vapor en la cámara de vapor que refrigere la placa y los tubos, en el momento de que está la caldera fría y se pone en marcha, **como hay un gran tiraje, si no se tiene la precaución de hacer una combustión lenta** (suave, tomándose un tiempo para el precalentamiento de la caldera en baja combustión) **la temperatura de los humos es muy alta y produce el recalentamiento de los mandrilados** (y soldadura) **de los tubos sobre la placa, provocando una "fatiga térmica" o recalentamiento que permite que el metal se "queme" o se "ablande", lo que produce el aflojamiento de los tubos o su fisura** (no olvidar que al calentarse la caldera hay diferencias de temperaturas que provocan que las dilataciones hagan grandes esfuerzos entre las placas, tubos y envuelta, hay una simple fisura por esfuerzo o una fatiga de esfuerzos cíclicos que termina en fisura).

**Otra desventaja, es que el tratamiento de agua debe ser de tal manera que no haya barros de "precipitación" interna, ya que estos barros caen en parte sobre la placa inferior, que está sometida directamente al calor de la llama, lo que puede traer problemas de enfriamiento de la misma** (estos barros son muy difíciles de extraer, ya que la placa esta horizontal y tiene los tubos verticales, que hacen difícil que los barros bajen a la "pollera" lateral, para ser sacados por las purgas de fondo. Conviene que haya dos purgas "encontradas", hacer una limpieza manual cada tiempo, con manguereado interno, así se mantiene la placa inferior limpia, para ello previendo entradas de mano o cabeza a la altura de la placa inferior y con posiciones encontradas para poder manguerear a toda la placa).




Como vemos en la figura anterior, mostrando los barros depositados sobre la placa inferior (que puede provocar recalentamientos), la placas superior es húmeda (se refrigera) y vemos la caldera que no termina correctamente la combustión (la llama penetra en los tubos y se apaga, **provocando pérdidas por gases no quemados),** vemos que hemos puestos 2 purgas de fondo contra-puestas y tapillas de limpiezas.

**En resumen: las calderas verticales son más baratas, pero <u>tienen por lo general un mal rendimiento</u>.** Conviene que la cámara de combustión tenga suficiente altura para que la llama no penetre en los tubos. El sistema de “grilla” o “parrilla” puede ser seco o de tubos con circulación de agua (el problema de estos últimos es que si el tratamiento químico produce barros, los tubos se queman al taparse por barros sin no tienen suficiente inclinación y las purgas no lo extraen). Para evitar los barros se debe “ablandar” el agua (intercambiar las sales que producen la precipitación, generalmente bicarbonatos de calcio y magnesio por sodio) o extraer estas sales con “ósmosis inverso” (o por medio químicos externos).

## AIRES Y CHIMENEAS EN CALDERAS A LEÑA

**En la combustión a leña, la entrada de aire debido al "tiro" de la chimenea o del ventilador de "tiro inducido", son los que "manejan" la combustión** (la leña está en una cantidad muy superior a que se está quemando en forma instantánea, sobre la parrilla o grillas) de manera que **la cantidad de combustión depende de la cantidad de aire que entra en contacto con la leña**, así como **el corte de combustión será el cierre de todo contacto del aire con la leña**, **operación esta última muy importante cuando es necesario parar totalmente la combustión frente a un bajo nivel de agua. Las entradas de aires cuando se cierren en estos casos deben ser muy "estancas"**. Los ventiladores de tiro forzado o las entradas de aire bajo y sobre grilla, **están dependiendo de la depresión del hogar** (por lo general unos -3 a -10 mmca) **y de los ventiladores de aire primario, secundario, terciario, etc.**.

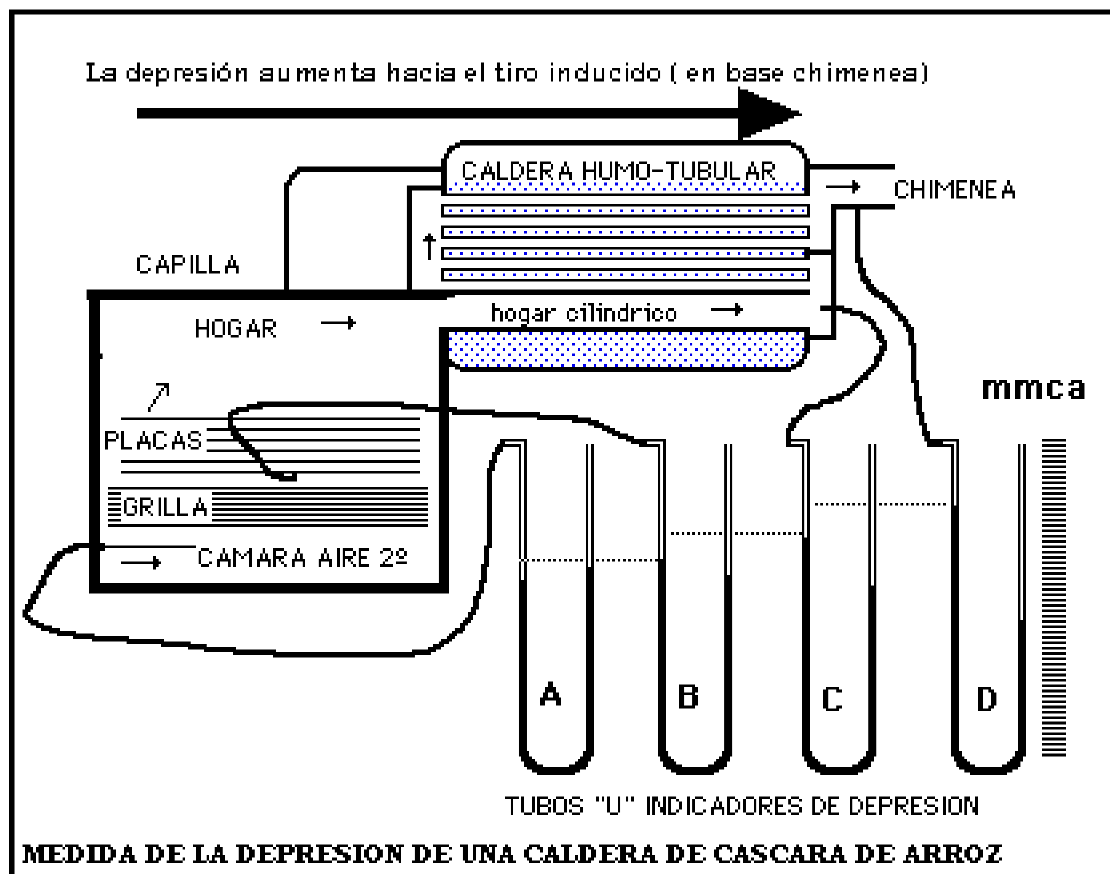
Por lo general podemos decir: **el aire bajo grilla (y secundarios) para la combustión son de acuerdo a la demanda de vapor (regulados por la presión del vapor) y el Tiro Inducido (manejo de gases) es comandado por la depresión del hogar de combustión** (aunque no siempre se puede asegurar que siempre será así, ya que hay otras alternativas). En estos otros casos, son distintas alternativas adaptadas a cada caso.

Es muy importante, entonces, antes de entrar a analizar todos lo tipos de calderas a leña, **indicar la forma que los humos de la combustión son "llevados" a la chimenea y como entran los aires de combustión**, porque esto define en buena parte el comportamiento de las calderas a leña, aunque **todas tienen en común que la cámara de combustión están en depresión** (o sea por debajo de la presión atmosférica, de manera que no escapen los gases por las entradas de carga de la leña, mirillas, tapas de ceniceros, etc., esta **depresión se mide por lo general en milímetros de columna de agua** (**mm. c.a. o en milibars** -siendo **1 mbars equivale aproximadamente 10 mm.c.a.**).

Para medir esta depresión (o presión si la hubiera) puede ser medida **disponiendo un tubo en U** de un diámetro de varios milímetros (por ejemplo, Ø **10 mm., cuyas extremidades transparentes, vidrio o plástico, tengan 300 o 400 mm. largo**, con **un extremo libre a la atmósfera** y **el otro a un caño de cobre o similar** (por ejemplo: de 1/4" o próximo), **que se conectará por un agujero bien sellado a la cámara o caja de humos a medir**, si no se puede sellar bien, **introducir el caño de cobre en el interior de la cámara, de manera de estar en el "seno" de la cámara a medir)**, lleno de **agua** (con **unas gotas de alcohol** y si se quiere con un poco de un colorante, tinta o similar). El extremo conectado a la caldera, si hay depresión, tratará de "succionar" el agua hacia ese extremo (en realidad es la presión atmosférica que "empuja" el otro extremo, debido a que su presión de aire es mayor que la cámara en depresión), si hay presión de aire en la cámara, el efecto es a la inversa.

**La diferencia medida entre la parte paralela de la U, en forma vertical (como "plomada") medida en milímetros (con una regla o metro) es la depresión** (en mm.c.a.)**.**

**En una cámara de combustión será por lo general de -4 mm. c.a. hasta unos -10 mm.c.a,** pero a medida que nos aproximamos a la chimenea o al tiro inducido, la depresión aumenta (hay más "vacio" o sea mayor tiro). **Cuando el tiro es natural esta depresión por lo general es baja** (en la base de la chimenea podrá ser de unos -10 mm.c.a. hasta unos -20 mm.c.a, si la altura de la chimenea es más alta y la temperatura de los gases es más elevada. Con un ventilador de "tiro inducido" puede ser muchísimo más elevado, pudiendo en la entrada del ventilador variar entre -50 mm.c.a. a más de -250 mm.c.a, dependiendo del tipo de ventilador, revoluciones por minuto y diámetro del rotor, etc, y de como esté regulado la entrada de aire en la cámara de combustión o las penetraciones por pérdidas en las tapas juntas de la cajas de humo).



**MEDIDA DE LA DEPRESION DE UNA CALDERA DE CASCARA DE ARROZ**

Como vemos en el gráfico anterior, la depresiones aumentan hacia el tiro de la chimenea (natural o inducido).

## 1-Tiro natural:

El tiro natural, como lo dice, es el "vacio" que tiende a provocar en la base de la chimenea los gases más calientes que van por el ducto de la chimenea (en realidad, es la presión atmosférica que empuja el aire hacia el interior del hogar de combustión al desplazarse el aire más caliente por lo chimenea en forma vertical, dado que el aire a medida que se calienta disminuye su peso: densidad, es así que un aire de una sala de caldera puede pesar unos 1,3 Kg./m3 pero al calentarse a la temperatura de salida de la caldera o entrada de la chimenea, bajar a unos 0,525 kg por m3. a una temperatura 400ºC, aunque por lo general la temperatura de chimenea es de unos 250ºC a 350ºC en las calderas de tiro natural).

**La intensidad del tiraje es igual a la diferencia entre el peso de un volumen de aire atmosférico igual al de la chimenea, con la de los gases calientes que contiene la misma.** Por esta razón, cuanta más alta es la chimenea (si los gases no se enfrían y el diámetro de la chimenea es adecuado), mayor será el "tiro" en la base de la chimenea (regulándose en la chimenea por medio de un "válvula de mariposa" o haciendo penetrar aire frío del exterior, de manera de mantener una depresión o "tiro" adecuado en hogar de combustión). No hay que olvidar que el volumen de los gases necesitan tener una sección en la chimenea, para pasar, que si la chimenea se "ensucia" y este pasaje se achica, la caldera pierde "tiro" y la combustión no se activa lo suficiente (la caldera pierde capacidad de producir vapor). La entrada de aire primario y secundario (o terciarios) se regula junto

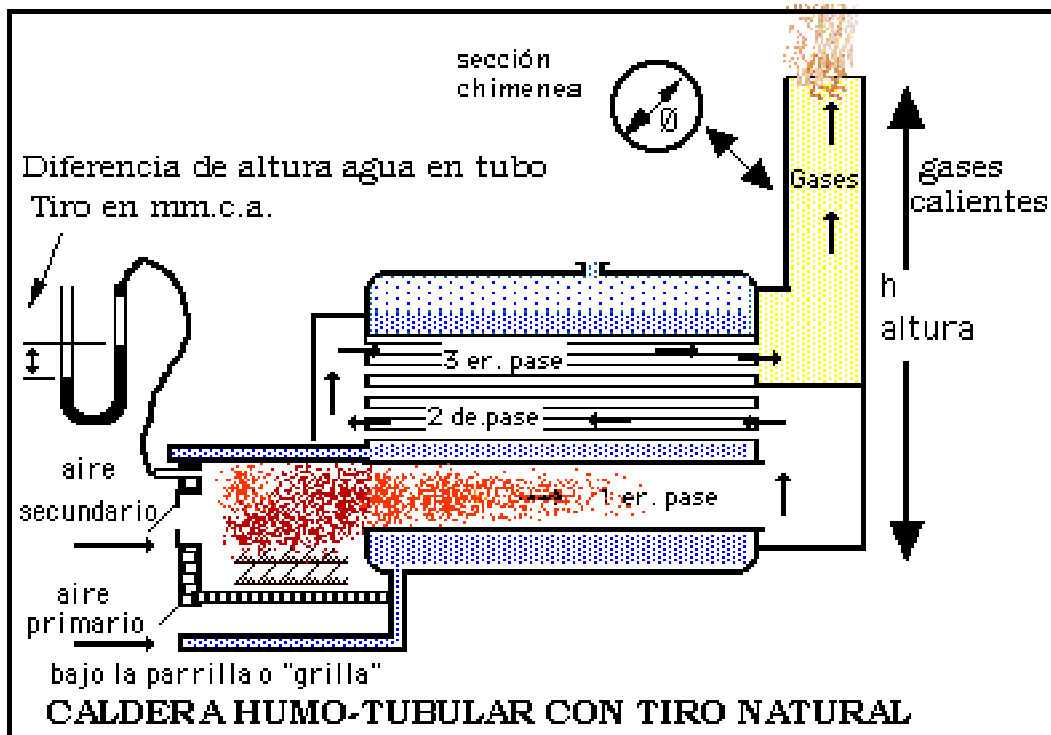
con el tiro, por medio de válvulas de "mariposa" o "persianas", bajo el cenicero, sobre la parrilla, etc..

**Podemos decir que una chimenea de 10 m. de altura,** cuando los gases tienen 250ºC de temperatura promedio, el tiro teórico en la base es de -5,4 mm, c.a., si doblamos la altura a 20 m. el tiro será el doble o sea -10,8 mm.c.a., lo mismo podemos decir de la temperatura, si aumentamos a 300ºC en ambos casos de altura tendremos -6 mm.c.a. y -12 mm. c.a, pero si se enfría la chimenea en invierno a 150ºC el tiro baja a -3,8 mm.c.a. y -7.6 mm. c.a.. **Estos valores teóricos, son los que obtendríamos si cerramos la entrada de aire a la caldera** (y no hay otros aires de penetración por pérdidas), **en ese momento, un instante antes que baje la temperatura en la chimenea, se produce el "tiro teórico". Pero al abrir los aires primarios y secundarios, el "trabajo" de hacer "circular" el aire y luego los gases, a través de las distintas secciones de la caldera** (en donde hay restricciones, como la parrilla, los tubos, regulaciones,etc.) **en donde hay un "trabajo restrictivo", perdemos parte del tiro teórico y tendremos el "tiro real" o sea el que mediremos en el hogar** (también hay una energía o trabajo gastado en la propia circulación de los gases, energía que luego será la que permite elevar los gases a la atmósfera).

**Conclusión: si la chimenea es baja, tiene poca sección** (hay trabajo gastado en vencer la falta de sección), **o los gases se enfrían, el tiro será "poco" y por lo tanto, la caldera tiene mala combustión y poca "respuesta"** (al aumento de producción de vapor). Especialmente al quemar leña con mucha humedad se necesita un "buen tiro", ya que necesita más aire que la leña seca y por lo general el hogar está más cargado de leña para compensar la falta de combustión.

Por eso la chimenea debe tener la sección adecuada (diámetro), la altura y la aislación a lo fríos del invierno (vientos fríos que la enfrían a los gases en el tramo de chimenea).

**En el tiro natural, por lo general el aire primario y secundario, también entran por la depresión que hay en el hogar** (es decir, no es "empujada" por un ventilador, si no que es "succionado" por la depresión que tenemos en el hogar), por lo cual la cantidad de aire que entra depende de la "apertura" de la entrada del aire y del valor de la depresión en el hogar (a mayor depresión, mayor "fuerza" para que entre el aire de la sala). **De esta manera se regula la cantidad de combustión, ya que la cantidad de leña en el interior de la caldera permanece constante, la cantidad de combustión o fuego depende de la cantidad de aire primario** (bajo grilla o parrilla, o tubo de hogar en algunos casos), **y secundario** (el aire secundario es el que entra por encima de la grilla, o en muchos casos, el sobrante de la propia parrilla, que se utiliza para "terminar" la combustión iniciada por el aire primario, que también tiene un exceso, el de la parrilla, que muchas veces suficiente para la combustión total).




**Esto significa la importancia que tiene la dimensión de la chimenea en altura, sección y que no se enfrien los gases, pero también en el hecho que no entren aire por filtraciones en partes no útiles para la combustión** (bocas de carga, tapas de limpiezas, forros del hogar, tanto refractario como de tubos, cajas de humos, base de chimenea, etc.).

En algunos casos puede que el aire primario, pueda ser "empujado" por un ventilador (pero siempre con depresión en el hogar). **En este caso, se mantiene la depresión en el hogar constante y se varía la cantidad de aire "empujado" por el ventilador primario.**

## 2-TIRO FORZADO (o "TIRO INDUCIDO").

Como las calderas de tiro natural no disponen de un gran "tiro" por las limitaciones (altura y sección de chimenea, necesidad de temperatura alta de los gases lo que significa una pérdida de Eficiencia, dado que los gases calientes se llevan el calor que podríamos utilizar para mejorar el rendimiento), las **calderas de tiro natural por lo general son de uno o dos pases de gases** (como las calderas verticales de un pase, o calderas humo-tubulares de dos pases o calderas acuotubulares de de 2 pases (antiguas calderas seccionales con tubos semi-horizontales).

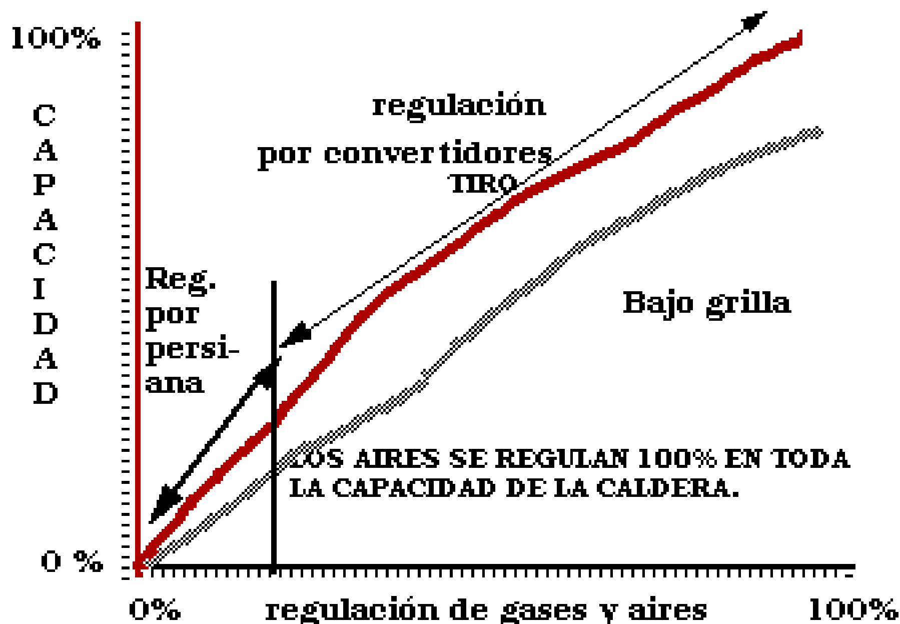
**Como en las calderas se debe aprovechar al máximo el calor producido, "achicar" al mínimo el tamaño de la caldera** (haciéndola más Eficiente con menos material), **se deben aumentar los pases de gases, poner recuperadores de calor** (como ser economizadores o sea: calentadores de agua de alimentación u otros usos, calentadores de recuperación para calentar el aire de combustión), **o aumentar la "velocidad de respuesta" a los cambios de consumo de vapor**, **todo esto hace que el "tiro natural" ya no sirve, por lo que se utiliza el "tiro forzado"** (succión e impulso, de los gases calientes por un medio mecánico).

**Por tiro "forzado" se pueden denominar una serie de sistemas en que el aire es forzado** (como el antiguo caso de las salas de calderas presurizadas, generalmente en aplicada en los barcos, empujan el aire e impiden que los gases salgan a la sala de caldera) **o succionando los gases por medios mecánicos** (ventiladores) **o por medio de inductores de aire o de vapor** (como en el caso de las locomotoras que se hace un tiro con un inyector de vapor como si fuera un "venturi" o sea, se descarga en una sección más estrecha de la chimenea un "chorro" de vapor por medio de una tobera, este vapor "arrastra" los gases, haciéndolos tomar más velocidad, lo que obliga a aumentar la capacidad de la chimenea y por lo tanto el "tiro" en su base, tal como sucede en las películas en que aparecen "locomotoras" a vapor, cuando hacen fuerza se ve la chimenea con humos muy sobrecargada, el vapor que se usa por lo general es de la descarga de los propios cilindros o pistones de la máquina, de manera de no gastar vapor extra, ya que el agua del vapor no se recupera).

**Pero, en nuestro caso, por lo general, llamaremos "tiro inducido" cuando un ventilador** (extractor, mecánico, movido por un motor eléctrico o a vapor: turbina o máquina alternativa) **colocado entre la caldera y la chimenea** (o entre los recuperadores de calor y la chimenea), "**succionan" los gases y los "empujan" a la chimenea.**

**La combinación del "tiro inducido" y el "aire forzado"** (o "forzador": aire forzado bajo grilla, secundario y terciario), **permite recuperar el calor de los gases de chimenea, facilitar todo el aire de combustión en todas las condiciones, poner todos los pases y recuperadores, manteniendo las succión en todas las secciones, de manera que no haya pérdidas de gases a la sala** (especialmente en leña esto es fundamental, ya que la leña debe ser cargada por una entrada expuesta a la sala de calderas y porque los gases de leña pueden ser contaminantes e inclusive "venenosos" por la presencia de CO—monóxido de carbono—que es tóxico por acumulación). **En las calderas a leña, no se debe permitir que los gases de la combustión contaminen los locales en donde trabaja el personal** (por el CO que puede existir en algunas circunstancias o etapas de combustión, habiendo otros gases "no quemados" que pueden ser perjudiciales para la salud).

**Por lo general el "tiro inducido"** (ventilador en chimenea), **mantiene en forma automática** (o manual) **la depresión en la cámara de combustión** (próximo a -4 mm.c.a. hasta unos -10 m.c.a), **variando su capacidad por medio de una válvula de gases** (persianas o mariposa en la entrada del ventilador) **o variando la velocidad del rotor del ventilador** (por medio de un variador mecánico o un variador electrónico de frecuencia de la corriente eléctrica alterna que alimenta el motor del ventilador, haciendo variar su velocidad de rotación o rpm, aunque recomendamos la combinacion de el control por "persianas" modulantes con **los convertidores de frecuencia de los motores, porque los convertidores por si solo no regulan de 0% a 100%**, sino que regulan de un % que puede ser del 30% o más, lo que dificulta la regulación correcta tanto del aire bajo grilla-primario- o sobre grilla-secundario o terciario o del tiro inducido en chimenea), **esto permite mantener la depresión a distintas cargas y lo que se varía para aumentar o bajar la combustión son los ventiladores de aire primario, secundario y terciario** (el tiro inducido acompaña el caudal de estos ventiladores **manteniendo la depresión preestablecida** en el hogar).




**Cuando la caldera solo tiene "tiro inducido", la capacidad de combustión se hace por medio de la depresión del hogar que provoca el tiro inducido** (aumentando o disminuyendo el tiro según aumente o disminuya la necesidad de aire de combustión, acompañando a esto con la regulación de los aires primario y secundario, por medio de su regulación a la entrada al hogar).

**EN LOS SISTEMAS DE "TIRO INDUCIDO" NO SE DEBE ABRIR LA ENTRADA DE CARGA DE LEÑA O LAS MIRILLAS CUANDO EL TIRO INDUCIDO ESTA APAGADO.** Si el tiro inducido está apagado, el hogar está lleno de "**gases a medio quemar"**, lo que al abrir una entrada de aire, entra oxígeno que se mezcla con los gases sin quemar y **puede provocar una explosión de hogar y/o salir una "llamarada" de fuego hacia la persona que abrió la mirilla o la compuerta de carga.**

## ESTO ES MUY PELIGROSO.

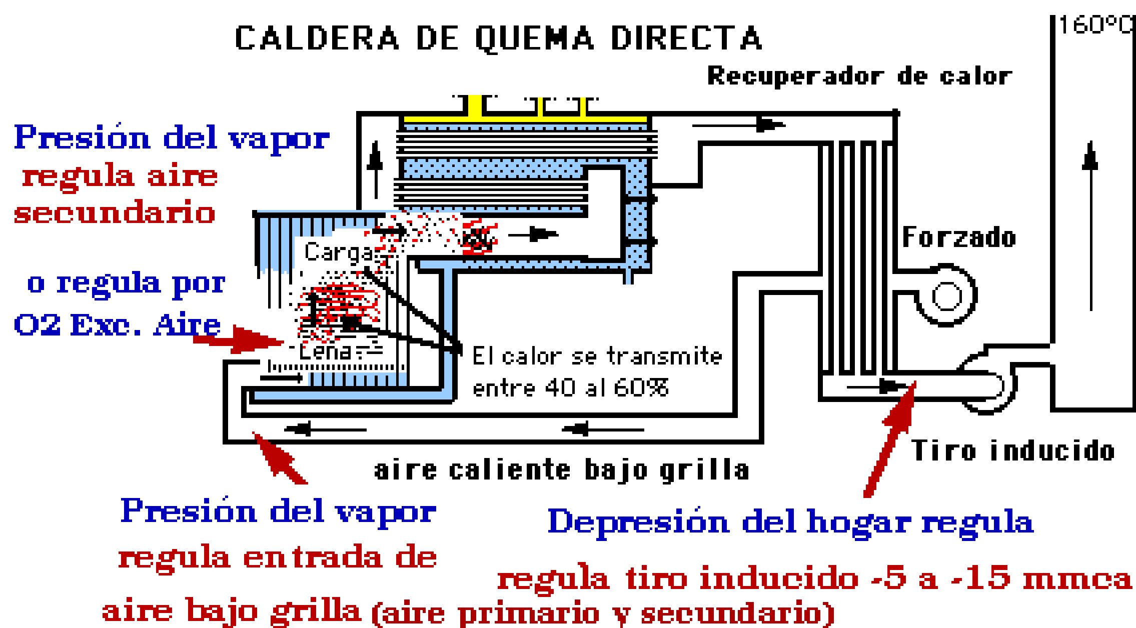
En algunos casos, conviene disponer un **sistema de seguridad que impida la apertura de la tapa de carga de leña si el tiro inducido está pagado** (**especialmente en la quema de "aserrín"**). Siempre **conviene que tiro inducido apagado permita un pequeño venteo de gases a través del ventilador para el "barrido" de los gases** (pequeña depresión en el hogar que impide que salgan gases a las sala de caldera, especialmente cuando los aires primario, secundarios y terciarios no cierren bien o se apaguen, incluyendo al tiro inducido, al cortar por alta presión de vapor como debe ser y siga entrando algo de aire o al apagarse por cualquier razón el tiro inducido. Este barrido asegura que no escapen gases como el CO a la sala, **aunque esta pequeña entrada de aire provoca que haya una pequeña vaporización,** o sea que la caldera no "apaga" totalmente, pero por lo general esto no representa un problema si no hay un bajo nivel importante).

**También se debe de tener en cuenta que los "cargadores"** (sistemas de carga de leña), **deben ser en lo posible "sellados" a la entrada de aire, mientras "cae" la leña al interior de la cámara de combustión, ya que este aire que entra no interviene en la combustión** (es un aire que entra y nos "roba calor" ) **que sale por la chimenea, nos acelera el Tiro Inducido de la chimenea para obtener la "depresión" deseada, pero aún así la falta de "depresión" afecta la combustión pudiendo bajar la presión de vapor de la caldera** (el aire no entra en la zona de combustión, o sea entre la leña sobre la

parrilla, hay un exceso de aire que consume calor, etc.). **Pero lo más criticable de estos sistemas es que exponen al operador a una explosión de hogar** (que puede ser por mezcla de gases con aire que entra u otra cualquiera o la simple explosión de un tubo de la capilla por mala circulación o por falta de espesor de pared por la corrosión que provoca la combustión con los años de marcha). **Aunque estos cargadores de "doble tapa", deben ser construidos de tal manera, que la tapa superior o sea más exterior, quede "enclavada"** (sujetada) **cuando la tapa de carga inferior se abre, de lo contrario esta tapa "exterior" si se abre con la explosión, no protegemos al operador.**

**Hay cargadores, que la "tapa" de carga más externa, tiende a quedar "trancada" en caso de una explosión, generalmente estas cajas de carga tienen dos compartimentos, uno sobre la tapa exterior en donde se precarga la leña y luego se pasa a la cámara intermedia, cerrando luego la tapa exterior que queda "trancada" sobre un marco resistente y recién se puede abrir la tapa de carga inmediata a la cámara de combustión** (generalmente estas tapas en contacto con la combustión son de fundición especial, y ambas operadas neumáticamente o hidraúlicamente).

Los tiros inducidos por lo general son comandados por un sensor de la depresión en el hogar de combustión (que mantiene la depresión entre -4 mmca y -10 mmca), y los tiros forzados son comandados por presóstatos que van conectados a la presión de vapor, **habiendo un presóstato de corte para el corte por alta presión vapor tanto para los tiros forzados como para el tiro inducido** (**bloqueando este último a los ventiladores de tiro forzado de manera de evitar que haya presión positiva en el hogar de combustión**, es decir, que nunca se puedan prender los tiros forzados si no hay la depresión suficiente en el hogar). Ver más adelante: Presóstatos (presióstatos).




En el croquis anterior, vemos, una caldera de "quema directa" con **aire forzado** (bajo grilla), con **tiro inducido** (entre el recuperador de calor y la chimenea), 3 pases, con cámara de combustión ("capilla" o sea cámara de combustión acuo-tubular), con recuperador en gases de chimenea (para calentamiento del aire primario y secundario, esto mejora la Eficiencia o rendimiento y mejora la combustión notablemente con el aire caliente). En este caso hemos puesto "fondo húmedo", pudiendo ser "fondo semi-húmedo o húmedo, acuo-tubular o sea "capilla trasera.

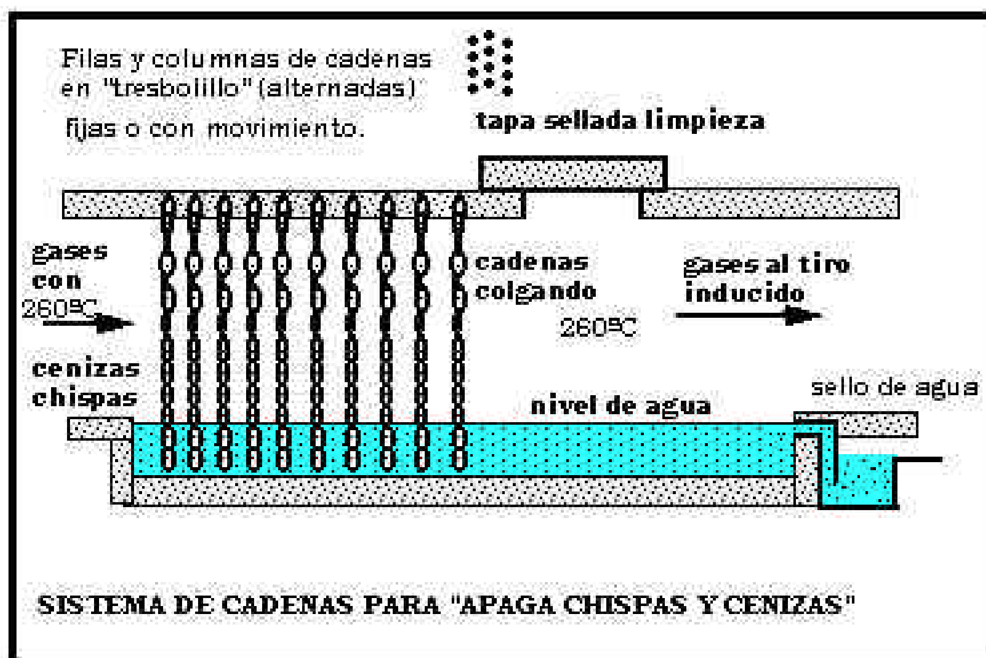
## ARRASTRE CENIZAS Y "CHISPAS"

**El arrastre de cenizas y "chispas"** (trozos en combustión o "brasas"), puede ocurrir en determinadas condiciones, especialmente cuando hay **tiro inducido** (y aumentada la posibilidad al tener aire "forzado" bajo la parrilla), **cuando se aumenta la producción de vapor o cuando la caldera está en un alto régimen de combustión.** Cuando la carga (grado de combustión) de la caldera es alto, por lo general, en cualquiera de los dos sistema (quema directa o gasógeno), se produce un "arrastre" de materia (cenizas y trozos de madera encendida, brazas) debido a la alta velocidad del aire entre las grillas y la mismos rolos que forman la "cama de combustión". Esto es más grave, cuanto más cenizas tenga la leña (aumenta con las cáscaras) y en el caso de las cáscaras (como **la cáscara de arroz, la ceniza es de más del 20%**), se produce más arrastre.

**La ceniza es un contaminante en el ambiente** (especialmente cuando es sílice como la cáscara de arroz), pero l**as "brasas" encendidas pueden ser un "peligro" de incendio** en las proximidades de la calderas (especialmente en fábricas con inflamables).

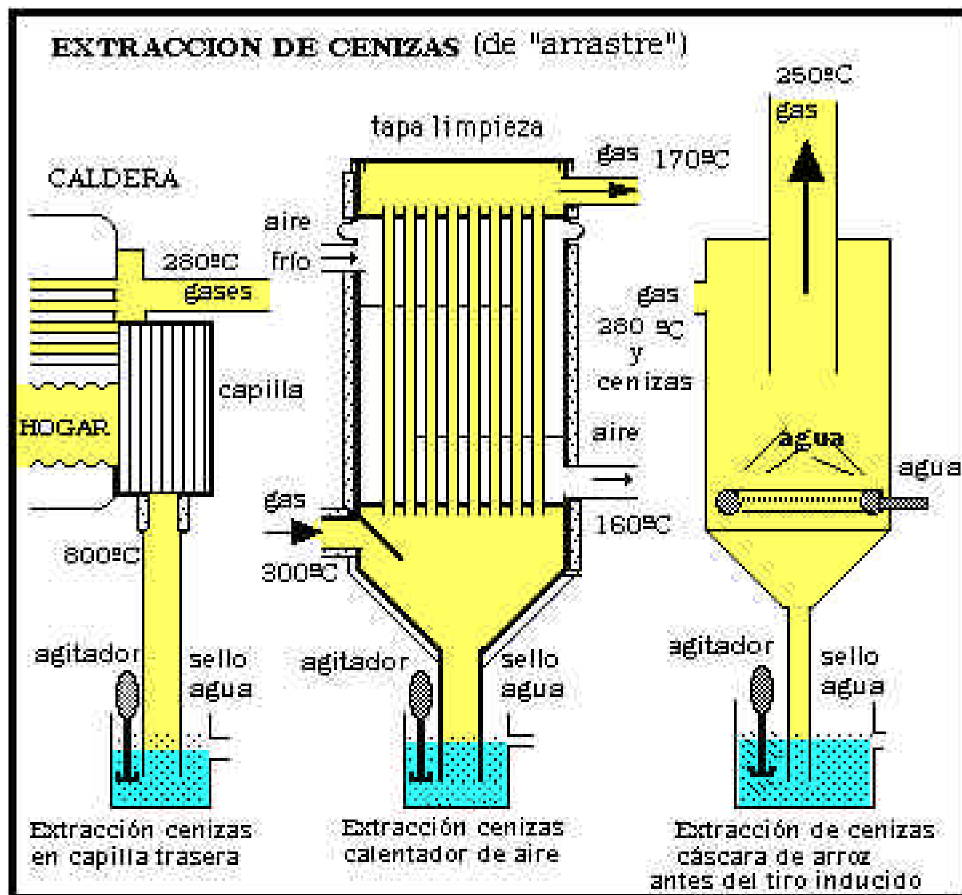
**Para evitar el arrastre de cenizas y "brasas", la operación del foguista sobre la caldera y la calidad de la leña son fundamentales, pero esto por lo general en algunos casos no alcanza, por lo que hay que instalar elementos que "atrapen" la ceniza y las "brasas"** (en este último caso lo llaman "apaga-chispas", pero no haremos diferencia).

**Lo más elemental, es hacer una base de chimenea y chimenea de "baja velocidad", el segundo sería ante-poniendo al tiro-inducido un "túnel" con una pileta inferior con cierto nivel de agua** (que hay que limpiar cada tanto) **y con cadenas "colgando" desde la parte superior, casi tocándose una cadena con la otra y puestas en "tresbolillo"** (o sea, alternadas, que obliguen a los gases a chocar con las cadenas. Los materiales arrastrados pegan contra los eslabones, puestas las cadenas en varias filas y columnas (alternadas en "tresbolillo"), si el sistema de cadenas tiene la posibilidad de un movimiento manual cada tanto, mejor, para "desprender" la materia pegada a las cadenas).




**A todo esto, el paso siguiente es poner entre el tiro inducido y el último recuperador: un multiciclón** (pequeños ciclones en paralelo, de alta velocidad, de material que resista la abrasión, que descargan la ceniza a una cámara común sellada, el problema a este sistema es el alto costo).

**En el caso de la cáscara de arroz, he diseñado un sistema de "baja velocidad" con la parte inferior central con una lluvia de agua para atrapar las partículas** (esto ha funcionado muy bien, pero debe diseñarse cuidadosamente, además que la zona de "abrasión" sea de un material "duro" y cambiable, el agua solo "moja" la zona inferior, zona en donde la densidad de partículas es mayor, "cayendo" el material separado por el agua a un "sello de agua" con la pileta limpiable en marcha, los gases no deben enfriarse con el agua, ya que esto haría que luego al salir por la chimenea no se eleven por falta de temperatura, es necesario que se eleven para diluirse en la atmósfera y no queden sobre la zona de descarga, ya que son gases con muy bajo contenido de oxígeno ($O2$), alto contenido de anhídrido carbónico ($CO2$)y con la posibilidad que tenga monóxido de carbono (CO)-tóxico- y otros "gases no quemados" no convenientes para la salud, este concepto debe ser tenido en cuenta con cualquier combustible).




**A todo esto, se puede disponer que haya separadores en las propias cajas humo** (aprovechando que baja la velocidad de los gases y hay un cambio de dirección, poniendo en la parte inferior un ducto de descarga con un "sello de agua" y cuya pileta sea limpiable, hay que tener cuidado que la primer parte del ducto está en contacto con gases a más de 800ºC, por lo que la primera parte del ducto debe tener refractario y aislación, siendo conveniente que la parte en contacto con el agua sea de inoxidable o todo el ducto si se quiere una larga duración).

Uno de los problemas, de todos los separadores, es sellar la "caja" de recolección del material (cenizas y materias incandescentes), yo prefiero que estos sellos se hagan con "sellos de agua", por ser más efectivos y a su vez apagan las chispas que caigan (aunque por lo general son del tipo "seco", que al no cerrar bien sus tapas, se producen filtraciones de aire que vuelven a introducir el material separado al sistema del tiro inducido).

**En general, hay que evitar que el ventilador de tiro inducido sufra el impacto de las cenizas** (hay abrasión, el caso de la cáscara de arroz es muy severa), **por lo que es aconsejable que el rotor del ventilador y algunas zonas de la envuelta de la caja del ventilador, sean protegidas por material más duro** (así sean por capas de soldadura al cromo-niquel en las zonas más perjudicadas, o haciendo "cordones" que separen la "vena" de gases del impacto a las superficies).

En el caso de la cáscaras, cuando las cenizas tienen mucha sílice (caso del arroz), evitar que salga por la chimenea es muy importante, ya que esta sílice al ser "respirada", puede provocar enfermedades pulmonares (caso de la "silicosis" u otras).

## SISTEMAS DE CARGA DE ROLOS EN QUEMA DIRECTA




**Una de las preocupaciones que se debe tener en las calderas de quema directa es la forma de cargar los rolos** (troncos de hasta 1.200 mm de largo, hasta Ø250 mm de diámetro), **ya que en el momento de la caldera si el operador de la caldera queda expuesto a la cámara de combustión, corre peligro frente a una explosión de hogar, pero fundamentalmente queda expuesto al "reventón" de un tubo de las paredes del hogar y tubos sostenes de las grillas** (aunque esta última por general si tiene grillas de fundición, la explosión y descarga del agua y vapor ocurre hacia el cenicero)**.**

Es evidente que históricamente los "maquinistas" de locomotoras o de calderas de barcos, a carbón, estaban expuestos a la explosión de los tubos sobre la masa de carbón encendida (expansión del vapor por su propia agua sobrecalentada más el calor sumado de la propia masa incandescente). Es evidente que en una pequeña caldera, la compuerta de carga es una "abertura" simple (como una puerta de bisagra, ver foto superior). **Resolver como aislar al "foguista" de la exposición a una explosión de hogar o un tubo, en este caso es un problema que se puede considerar complejo pero no imposible**. **En casos de calderas de pequeño porte, con carga lateral, no solo se expone al foguista a un**

**"altísimo riesgo", sino que además cada vez que carga los rolos entra aire que no interviene en la combustión, esto provoca pérdidas por aire frío que entra y es calentado, "robando" calor junto con los gases de la chimenea, pero además afecta el comportamiento de la caldera, ya que produce en ese momento que la depresión del hogar se pierda, lo que provoca que el aire de combustión primario no entra en la masa en combustión y por lo tanto la caldera pierde presión** (habiendo un aumento extra de pérdida por efecto que el tiro inducido se dispara si es con "depresión automática" al no detectar el vacío del "set-point", aumentando con ello las pérdidas por gases calientes de chimenea ya que hace entrar más aire frío que no aporta oxígeno a la combustión)**.**

FOGUISTA EXPUESTO A UNA EXPLOSION EN HOGAR




**Lo que no se debe es exponer a los "foguistas" en calderas de medio y gran porte, ya que las mismas "magnifican" su explosión por el gran volumen de agua que son capaces de liberar (incluyendo que por lo general trabajan a más presión).**

**En estas calderas de medio y gran porte el problema a resolver de como evitar la "exposición" del foguista a una explosión de hogar o de tubos con gran expansión de vapor, ya está resuelto, lamentablemente no siempre aplicado.**

**Las "compuertas" de carga para que sean seguras** (por carga superior) **tienen dos etapas de carga, un zona de pre-carga que los rolos son apilados con la compuerta cerrada superior** (que abre hacia la cámara de combustión, para que si hay una explosión la misma tiende a cerrar), **luego una cámara intermedia que se carga con los rolos de la "pre-carga**", pero que tiene una compuerta que de acero para alta temperatura que lo aisla de la cámara de combustión, **esta compuerta de carga solamente se abre cuando la compuerta de pre-carga está cerrada y también se cierra en forma de trabar en caso que haya una explosión en el hogar**.

La gran ventaja de esta doble compuerta de seguridad, **no es solo que protege al foguista en caso de una explosión de hogar o un tubo de la capilla, sino que no permite que entre aire por las compuertas, por lo que no hay pérdidas por la entrada de aire "parásito" ni se pierde la depresión del hogar** (lo que mantiene el tiro inducido con la regulación del "set-point"-punto de ajuste de la depresión del hogar- lo que no distorsiona la marcha de la caldera ni produce pérdidas).

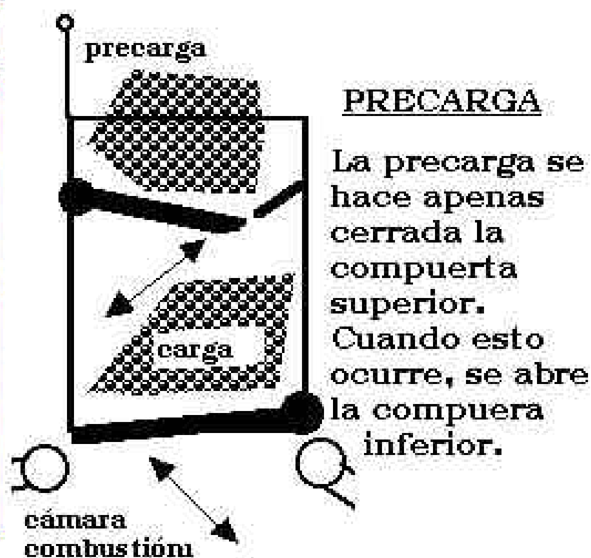
Veamos unas figuras de un "cargador seguro".

Hay una precarga que prepara el operador, mientras que la carga que ha pasado de la "precarga" a la zona de carga, no ha permitido entrar aire, ya que la tapa inferior está cerrada. Mientras la carga es descargada a la cámara de combustión, la tapa de la "precarga" estará cerrada, no exponiendo al foguista a una explosión en el hogar, mientras que el operador prepara la precarga. Descargada la carga a la cámara de combustión cierra la tapa de la carga y permite una vez cerrada, la apertura de la tapa de la "precarga, no exponiendo al operador ni dejando entrar aire a la cámara de combustión.

Este sistema tiene 4 elementos fundamentales, el operador no queda expuesto a explosiones de hogar, no entra aire parásito (que no interviene en la combustión y nos "roba" calor que se va por la chimenea como un "exceso de aire" inútil, no desestabiliza el funcionamiento del tiro inducido ya que la depresión de la cámara de combustión no se altera, y permite la carga continua de los rolos al hogar.

Por la simple observación de la figura inferior, el lector se dará cuenta como funciona el sistema.










**De todas maneras, debemos de reconocer que muchas calderas que por un problema económico no se han establecido "compuertas de cargas" o "cargadores" seguros, estos cargadores inseguros tienen una doble tapa, pero no está previsto la protección del operador, ya que la compuerta superior abre en caso de una explosión por efecto de la presión de los gases y el vapor contra la compuerta que abre hacia arriba y no hacia abajo como ocurre en una compuerta de "seguridad".**

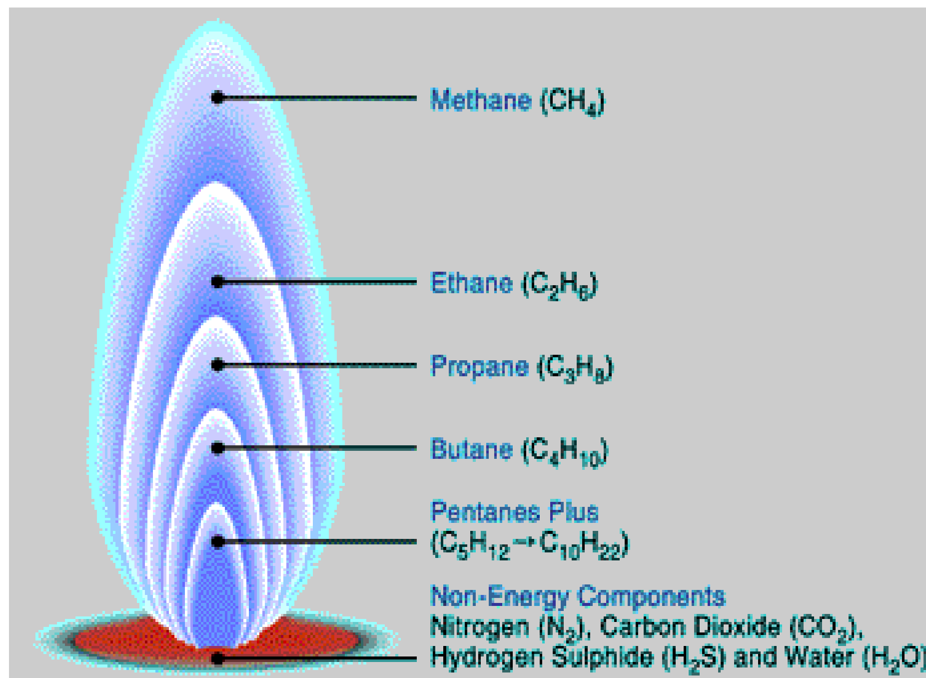
**Lo que no se aplica, es que un "cargador seguro" al no dejar entrar aire extra, ni perder la depresión, produce un ahorro de energía que el costo de un "cargador seguro" se paga en meses con el ahorro de combustible.**




**Como vemos en foto superior, un tubo "bajo grilla"** (sostén de la grillas en una caldera de quema directa) **que se encuentra tapado o prácticamente tapado por barros, esto ocurre en casi toda caldera si no se manguerean los barros una vez al año, ya que los barros en un tratamiento son casi inevitables-falla en los ablandadores permitiendo entrar agua dura, contaminación en los condensados con agua dura, etc, ya que el tratamiento transforma el agua dura en barros que deben salir por las purgas, pero si entran a circular por las capillas como es natural, ya que las capillas de combustión están conectadas a la parte baja de la caldera, zona de barros que decantan, como los tubos de las grillas tienen una leve inclinación que hace que los barros siguiendo el empuje de la circulación no pueden lograr llegar al colector superior que sostiene la grilla en la parte alta y decantan, hasta tapar el tubo** (no salen por la purga, ya que las purgas están en los colectores, en el extremo, los barros entran antes de estas purgas, y decantan, hasta tapar o casi tapar la circulación), **un tubo con pobre circulación o nula circulación es candidato casi inmediato a un "reventón" por recalentamiento del metal y la fuerza de la presión del agua y vapor de la caldera, la pérdida misma más la expansión del agua sobre la combustión, agraba la fuerza de la expansión. Esto muestra la peligrosidad que representa un cargador "inseguro", que exponga al foguista al contacto directo con la cámara de combustión en el momento de cargar.**

# Calderas a gas :

## QUEMADORES A GAS




**Llama libre de Gas Natural**

**La información dada en este capítulo de gas natural, se debe tomar cuidadosamente y a riesgo de cada uno, ya que no responde a una norma en particular, sino que describe en forma general: información y experiencia personal, por lo que su uso no es de responsabilidad del autor, CWT.**

La posibilidad de quemar gas natural ya es una realidad (En Paysandú ya se está trabajando con gas natural, desde 1999 en ANCAP y en el año 2000 en otras industrias). Ahora en la parte sur de Uruguay, desde el año 2003. El beneficio no será solamente económico, ya que ha igualdad de calorías, podría ser el gas mas barato (dependenderá de los combustibles a comparar y de la situación del mercado), sino que la combustión a gas, **si está bien instalada y ajustada**, tiene **menos problemas de mantenimiento (pero debe mantenerse una vigilancia permanente del sistema, especialmente el sistema de seguridad y los resultados de combustión)**, ya que no habrá que trabajar con combustibles líquidos y el hollín será cosa de la historia (**no tan así**, si hay falta de aire y mala mezcla, puede producirse **un hollín muy aislante y sin "humos" visibles, que será observado por un aumento de la temperatura de los gases de chimenea, al aislarse las superficies de transferencia, se notará la presencia de CO y un oscurecimiento en los gases expulsados, pudiendo este hollín ser expulsado por la chimenea y ser notado por el depósito sobre techos y patios**).

**Supuestamente habrá menos contaminación al producir menos cantidad de CO2** (anhídrido carbónico, uno de los gases que provocan el "efecto invernadero"), ya que

el gas natural contiene más hidrógeno (H) y menos carbono (C). aunque por ser un combustible fósil, **de todas maneras será contaminante**. Los **óxidos nitrosos** (el nitrógeno del aire y del combustible, cuando se oxidan por alta temperatura forman Nox, óxidos con el nitrógeno) se producirán en menor cuantía en la combustión y el **azufre será supuestamente casi eliminado en los suministros si son adecuados**, disminuyendo la contaminación por SO2 (anhídrido sulfuroso), ambos provocan la lluvia ácida junto con el CO2, aunque su poder corrosivo del SO2 es superior, inclusive muy irritante o tóxico para los seres vivos.

**Esto será así, beneficioso, si los quemadores de gas están correctamente ajustados, sin un exceso de aire en demasía** ( en general no más del 15% en alta al 30% en baja de exceso) **o la falta del mismo, u otros problemas de combustión relacionados al quemador o a su adaptación a la caldera** (que puedan provocar gases sin quemar)**.**

**PERO CUIDADO !!!! habrá más posibilidades de accidentes en la parte del combustible, si no se hacen las cosas bien.**

Por ejemplo : **una pérdida de gas al ambiente de la sala de caldera**, podrá entrar en ignición violenta solamente quizás al prender la luz (las salas de calderas deberán ser muy bien ventiladas) **o la falta de barrido de un quemador podrá producir una explosión de hogar** (u otras fallas). **La presencia de CO por mala combustión** (ya que el ajuste de la combustión no se puede hacer a "ojo", podrá haber falta de aire o falta de mezcla aire con el gas o llama fría que como resultado producirán combustión incompleta) podrá ser un problema, ya que **el CO es un gas incoloro e inodoro**, que es **venoso por acumulación o por exceso en un ambiente**. Solo nos damos cuenta por los síntomas que presenta : dolores de cabeza, vómitos, mareos, etc. que generalmente desaparecen al salir del ambiente contaminado (una sala de caldera o cualquier local que se contamine). Hay detectores electrónicos con alarmas para la detección del monóxido. **Pero el CO** (**monóxido de carbono**) **llegado a un valor de concentración y tiempo de exposición, produce la muerte** (hecho que ocurre muy a menudo en los autos en los países que hace frío, que al cerrar las ventanillas de los autos y estos no estar ventilados cuando están parados en grandes concentraciones o "taponamientos de transito", mantienen el motor prendido para la calefacción, si los caños de escape pierden gas de combustión, rico en CO al estar el motor en baja, y este entra al interior del auto, produce la intoxicación de los ocupantes).

Aquí debemos dividir el problema en 4 partes : **1- la problemática de recibir adecuadamente el gas con todos los elementos de seguridad, 2-el quemador deberá tener todos los requisitos necesarios para la quema de gas natural, 3- la sala de calderas deberá ser adecuada, 4- el quemador debe ser ajustado por instrumentos, 5- el personal debe ser cuidadosamente instruido y entrenado.**

**<u>1- La problemática de recibir adecuadamente el gas con todos los elementos de seguridad:</u>**

La compañía suministradora del gas natural por cañería (nos referiremos a este fundamentalmente), **suministrará un gas lo más "estándar" posible dentro de las condiciones pactadas** (es decir, el gas natural varía de suministro en suministro), ya que es una composición de distintos gases en que el carbono -**C**- y el hidrógeno -**H**- se combina de diferentes maneras, formando gases cuya relación carbono a hidrógeno varía y con ello varía su capacidad de reacción con el oxígeno, las calorías que puede dar, la velocidad de combustión , etc.. La forma gaseosa predominante será el **gas metano**, cuya fórmula es **CH4**, contiene mucho hidrógeno en relación al carbono (se llama también "gas de los pantanos" por producirse en la naturaleza por la descomposición de la materia orgánica) . Además es : un gas **incoloro, inodoro, poco soluble en el agua y muy inflamable**, cuyo

**peso molecular del metano es 16**, es decir que **tiene una densidad muy inferior al aire**, **el aire tiene aprox. 27 de peso molecular promedio**. **El metano supuestamente libre tiende a "subir" en la atmósfera o en una habitación irá subiendo a las partes más altas.**

El **gas natural** como no se puede licuar a presiones bajas (como el gas de garrafa formado por gases más pesados) a temperaturas ambientes (hay que bajar su temperatura a valores muy bajos para que las presiones que se licua no sean altas en los recipientes). Por esta razón se hace necesario transportarlos por cañerías a altas presiones (para aumentar su peso por volumen), el transporte se puede hacer hasta más de 70 Kg/cm2 y velocidades de 40 Klm/h, para que las cañerías no sean de gran tamaño, por las cuales se bombea con grandes compresores para gas. Una vez llegado al sitio de uso, se le bajará la presión a un valor medio aceptable para el suministro de la red local, bajándose aún más en el lugar de uso definitivo, en donde la presión será por lo general relativamente baja (centímetros de columna de agua : cm.c.a. ó metros: m.c.a. o milibares : mb que equivale a 10,2 mm.c.a., en la práctica 1 cm.c.a. o 10 mm.c.a.).

Por lo que al gas natural, luego de su extracción de los pozos, **se debe preparar para su utilización, en la cual se sacan los elementos condensables (hidrocarburos que condensan con la presión), el agua y las materias sólidas arrastradas, se baja el contenido de azufre, etc.** , dependiendo de su composición.

Por ejemplo, veamos la composición de un gas natural :
**Composición típica de un gas natural** (% por volumen) **:**
Metano....CH4............ 88,1 %
Etano.......C2H6............ 4,90 %
Propano...C3H8............. 2,30 %
Butano.....C4H10........... 0,70 %
Pentano....C6H12............ 0,10 %
N2+O2..............................1,40 %
CO2..................................2,60 %
**Poder Calorífico Sup** (MJ/m3) **.......** **39,6 Mj/m3**
**Densidad relativa** (aire=1)**...............** **0,643**
**Indice Woobe...............................** **49,4**

**<u>Ahora veamos la composición del gas natural en Paysandú</u>** ( noviembre 1999)

| | | **Peso molécula** | % |
|---|---|---|---|
| Metano | CH4 | 16.041 | 90.984% |
| Etano | C2H6 | 30.067 | 4.083% |
| Propano | C3H8 | 44 | 1.196% |
| Nbutano | C4H10 N | 58.118 | 0.330% |
| Isobutano | C4H10 I | 58.118 | 0.210% |
| Pentano iso | C5H12 N | 72.144 | 0.091% |
| Pentano n | C5H12 I | 72.144 | 0.080% |
| N hexano | C6H14 | 86.169 | 0.116% |
| Anhíd.carbónico | CO2 | 44.01 | 1.967% |
| Nitrógeno | N2 | 28.016 | 0.935% |

**Densidad relativa** (aire=1)..........**0,624**
**Densidad** (peso por volumen)... **0,76 Kg/m3**
**P.C.S. 9.402 Kcal/m3 o sea 12.292 Kcal/Kg.**
**P.C.I . 8.494 Kcal/m3 o sea 11.105 Kcal/Kg.**
**Indice Woobe...............................49,8**

**Para que las pérdidas sean detectadas por el olor, en las terminales de**

**distribución le inyectarán una sustancia olorosa** (generalmente “mercaptanes”, elementos derivados del azufre con un olor por lo general muy penetrante y desagradable) **esto hará que cuando haya alguna pérdida al ambiente se pueda detectar por el olfato** (esto es obligatorio por ley para evitar un accidente, generalmente el odorizador es aprox. de 3 mg/m3 al punto de consumo, generalmente no menos de 5 mg/m3 en el punto de inyección, según sea la norma del lugar y debe ser su "olor" notorio frente a una pérdida.

**En el caso de Uruguay se aplica a la fecha, 2004, la norma Argentina NAG 100, que permite detectar en el aire una concentración de gas natural del orden del 0,2%, el control depende de la URSEA** ( Unidad Reguladora de Servicios Energía y Agua)**.**

**También hay sensores de gas electrónicos, que deben ser instalados en los ambientes en donde se trabaja con cierto volumen de gas y qué por razones de seguridad se debe evitar la acumulación de gas para evitar el riesgo de una explosión.** Generalmente estos equipos electrónicos trabajan de varias formas, pero no detectan el olor, sino las propiedades físico-químicas del gas, siendo los más antiguos los “explosímetros”. Estos últimos funcionan en base a la combustión del gas que pudiera haber en el ambiente, haciéndolo en el interior de una “celda” con un elemento catalizador, detectando la energía calorífica que dicha proporción de gas pudiera dar al “quemarse” con el oxígeno del propio aire, la cantidad de calor indica su proporción. Los equipos más modernos trabajan sobre otras propiedades del gas.

**Los gases “explotan” dentro de cierta proporción con el aire, basta una pequeña chispa eléctrica** (como la chispa del interruptor de encendido de una luz o linterna), **una chispa mecánica** (el golpe de una herramienta de hierro sobre otro hierro o piedra), **una chispa de “estática”** (provocada por la fricción de dos elementos), **o calor** (ya que si entra en contacto con temperaturas de más de 600ºC, entra en combustión).

**En Estados Unidos, en 1999, la central de generación de energía de la planta armadora más importante de autos, "explotó", matando y dejando heridos y quemados a muchísimos operarios. Esta explosión ocurrió en** <u>una caldera parada para inspección</u> **: una pequeña pérdida de gas natural llenó el hogar de una gran caldera** (en una sala de varias calderas de alta presión en marcha), **este gas, mezclado con aire en el interior del hogar, por alguna razón entró en una combustión tipo explosiva** (chispa, pequeño foco, etc)**. Este desastre, al fin del siglo XX** (de alta tecnología) **habla claro del cuidado a tener con el gas natural.**

**Otro caso, ocurrió en Uruguay, a fines de la década del 80, un soldador entró en una caldera de gran hogar** (acuo-tubular de una caldera seccional), **mientras usaba una garrafa de gas** (supergas) **para cortar con soplete**, **aún con el soplete apagado, una pequeña pérdida empezó a llenar con gas la cámara de combustión, hasta que la mezcla con el aire hizo una mezcla explosiva, que al utilizar una amoladora para hacer un desbaste, la mezcla explotó por una chispa y le costó la vida.....**

**Otro caso, ocurrió en el Uruguay a fines del año 2003, por falta de entrenamiento del personal por la firma suministradora de un quemador "dual" a F. Oíl y gas natural, se produjo una "explosión de hogar", luego de la primera marcha con F. Oíl Pesado por una corte de gas natural, solo de unas horas, al intentar volver a poner en marcha el quemador con el gas natural** (las toberas de alimentación de gas estaban tapadas por resto de combustible, escorias y combustible concentrado, lo que impidió que el "anillo" de gas encendiera en el primer momento, provocando una concentración de gas en el hogar (quizás aumentada por el propio desprendimiento de gas de restos de F. Oíl), que al entrar en ignición al final del período de establecer la llama principal o antes (por el piloto **o por un foco ígneo en el hollín depositado que se** "**reavivó" con el barrido**), provocó una violenta explosión, que afecto gravemente a las personas que intentaban arrancar la caldera con gas).

**Ejemplos de estos, lamentablemente hay muchos, con el gas debemos de ser muy cuidadosos al trabajar en un área que pueda acumularse** (evitando toda pérdida, manteniendo los venteos en condiciones, haciendo un barrido con aire o preferiblemente trabajando en una corriente de aire, **evitando la acumulación de gas en lugares cerrados**). **Un problema en general es que las calderas en los edificios están en las partes bajas** (como en los sótanos), **que si se acumula por pérdidas** (o como es más liviano que el aire sube se introduce en espacios superiores), **puede provocar una explosión con "demolición" del edificio** (las calderas en general y especialmente las de gas, deben estar en zonas ventiladas, con "cerramientos" de estructuras "livianas", que cuando haya una explosión no se transforme la estructura del edificio en una "granada", o sea que la explosión se "alivie" fácilmente, lamentablemente en Uruguay sobran los "malos" ejemplos de instalaciones ideales para provocar un gran daño.

**Las mezclas cuanto más pobres, son más peligrosas** (la velocidad de la llama es muy alta) y cuanto más ricas de gas, más lentas (la velocidad de la llama es menor), es decir que **hay un valor mínimo de gas para mezclarse con el aire para "explotar" y un valor máximo por el cual si estamos con la mezcla por encima de cierta proporción**, **ya no se produce la ignición.**

**Límites de combustión para mezclas de aire-gas**

| **Gas** | **Baja%** | **Alta%** |
|---|---|---|
| Hidrógeno...................... | 4,0% | 75,0% |
| Acetileno........................ | 2,5% | 80,0% |
| Metano........................... | 5,3% | 14,0% |
| Gas Natural................... | 5,0% | 14,0% |
| Gas de ciudad............... | 5,0% | 37,0% |
| Propano......................... | 2,2% | 9,5% |
| TLP............................... | 8,0% | 36,0% |

(TLP : tempered liquid petroleum gas: un gas de petroleo aireado).

Como se ve en la tabla anterior, el metano y el gas natural tienen casi los mismos límites, debido a que el gas natural en su mayor parte esta formado por metano. **Esta tabla indica que los % bajos de pérdida en un ambiente pueden ser muy peligrosos.**

El otro factor que hace que un gas tenga su ventaja en la combustión y sus riesgos, es la temperatura de ignición .

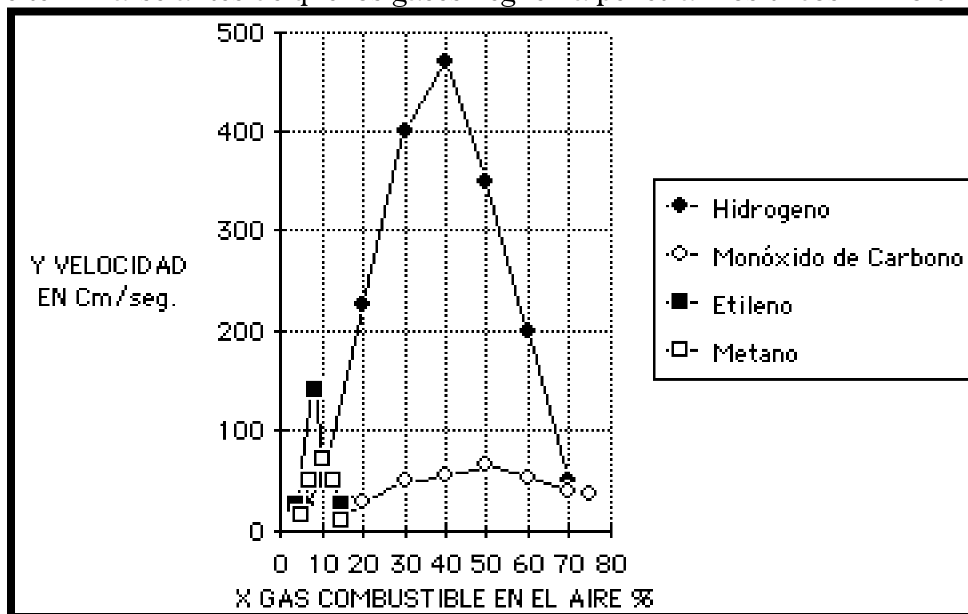
**En el caso del metano y del gas natural, de acuerdo al % de mezcla con aire, la temperatura aproximada de ignición es :**

| **% de GAS EN AIRE** | **4%** | **6%** | **8%** | **10%** | **12%** | **14%** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Para Metano, ºC | 637 | 635 | 642 | 648 | 659 | 670 |
| Para Gas Natural, ºC | 632 | 612 | 611 | 612 | 613 | 617 |

La temperatura de + 600ºC puede ser de una chispa de estática, una llave de luz al ser accionada o una lámpara incandescente que se rompe, una simple linterna no protegida contra explosión o un simple golpe metálico (hierro, acero, fundición, pero hay herramientas especiales de base de cobre u otros metales que no producen chispas al golpear).

**La velocidad de la llama** es muy importante, tanto para la combustión en un quemador como en una mezcla explosiva, siendo el hidrógeno el elemento de más velocidad de combustión, como el gas natural contiene como elemento principal el metano, muy rico en hidrógeno, parecería que su velocidad de combustión fuera muy elevada, cosa que no es tan así debido a la presencia de otros elementos que contiene, pudiendo medir la velocidad de llama en Gas Natural típico en una llama de un Bunsen (mechero abierto a la atmósfera) en aprox. 300 mm por segundo (el hidrógeno es de unos 2830 mm por segundo) y la máxima velocidad de la llama del Gas Natural típico se producirá al 100% del aire teórico requerido (o aire mínimo, aproximadamente unos **9,8 m3 de aire por m3 de gas natural**, próximo a la mezcla "**pobre**" **de gas, o sea el 5 % en**

**peso**). **En un tubo**, como en **el hogar** de una caldera humo-tubular, las velocidades varían, ver el gráfico inferior, en un tubo de 1" de diámetro (en el interior de los tubos humo-tubulares, de 2" a 3", la llama se apaga por enfriamiento, por eso la combustión debe terminarse antes de que los gases lleguen a penetrar los tubos humo-tubulares).




**La velocidad de combustión** es muy importante para el comportamiento de la llama, esta depende de muchos factores (la **mezcla**, el **% de aire, la temperatura**, la **composición**, la **forma del hogar**, la **presión**, etc.), el gráfico anterior se indican unas velocidades de llama o combustión en un tubo de 1" de diámetro, que podrá variar según comentamos. Como se ve el hidrógeno en una proporción de aire del 40% es el que tiene la mayor velocidad de combustión. El componente fundamental del gas natural es el gas metano, por lo que la velocidad de combustión se parece a éste.

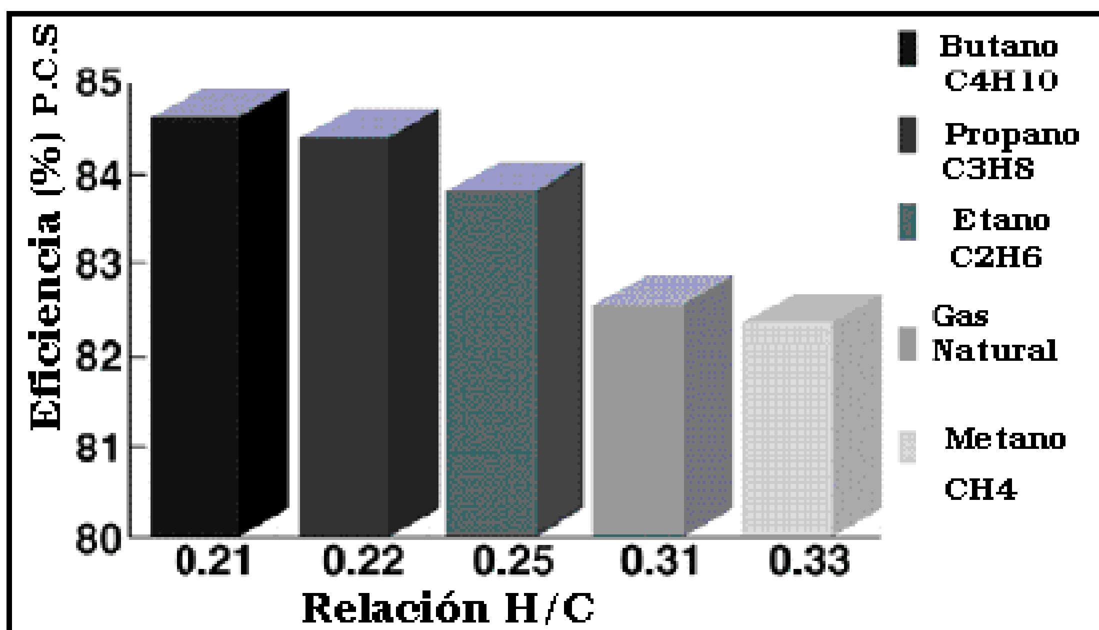
Generalmente se piensa que un gas natural (o de leña como en el gasógeno) tendrá una velocidad muy alta de combustión, esto no es así, ya que la composición de la llama varía en el tiempo de combustión, además la temperatura de la llama varía a medida que se aleja del quemador (aumenta y luego disminuye). **En los combustible líquidos como el F. Oíl** (ricos en carbono), los mismos tienen **llamas de muy alta luminosidad, que acelera la combustión**, debido al **efecto catalizador de las partículas de carbono** incandescentes en el seno de la combustión (llama luminosa, las partículas de carbono incandescentes aceleran la combustión, por radiación, efecto que a veces se intenta lograr con los aditivos de combustible), siendo **la llama de los gases, pobres en carbono** (llamas poco luminosas, no hay partículas incandescentes que aceleren la combustión), por lo cual la llama es extendida y no se ve su terminación con claridad. No confundir con la cantidad de calor, con la capacidad de la llama a transmitir el calor por radiación, ya que el carbono produce menos calor por Kg. que el hidrógeno. Esta baja velocidad en la combustión en los gases, puede ser un factor de ruidos o vibraciones, si el hogar de la caldera es insuficiente en diámetro, ya que la velocidad de combustión de la llama es alcanzada por la velocidad de la masa de gas y aire en combustión, especialmente en la zona fría o comienzo de la llama, lo que hace que se provoquen presiones inestables en el tubo del hogar, que provocan ruidos o vibraciones (como en el soplete de gas del plomero). Por lo que **obliga a provocar los mejores efectos de mezcla del aire y combustible gaseoso** (mezcla, que llamamos a veces turbulencia), de manera de aumentar la velocidad de combustión.

Las llamas cuya relación **H/C** (hidrógeno/carbono)**, es menor** (tienen menos hidrógeno)**, la llama es más luminosa, por lo tanto más corta y con alta transmisión radiante, mejoran el % de eficiencia en una misma caldera** (aunque tienen más tendencia a provocar hollín)**.** En el gráfico siguiente, se representa esto, además, influye la presencia de hidrógeno (H), dado que a más hidrógeno, aumenta la cantidad de agua formada y como el eficiencia en este caso está representada por la Eficiencia al P.C.S., la eficiencia se afecta más que la referida al P.C.I. (La eficiencia referida al P.C.S. evalúa mejor el comportamiento de los combustibles-la presencia o formación de agua- y la eficiencia referida al P.C.I. evalúa mejor el comportamiento de la caldera).

| | | densidad | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Kg/m3 | P.C.S. Kcal/k | P.C.I. Kcal/kg |
| METANO | CH4 | 0.6796K/m3 | 13,266.46 | 11,955.87 |
| ETANO | C2H6 | 1.2860K/m3 | 12,400.32 | 11,351.41 |
| PROPANO | C3H8 | 1.9156K/m3 | 12,034.20 | 11,080.29 |
| NBUTANO | C4H10 N | 2.5339K/m3 | 11,838.09 | 10,933.62 |
| ISOBUTANO | C4H10 I | 2.5339K/m3 | 11,809.75 | 10,905.28 |
| PENTANO ISO | C5H12 N | 3.0496K/m3 | 11,717.53 | 10,843.06 |
| PENTANO N | C5H12 I | 3.0496K/m3 | 11,695.86 | 10,821.39 |
| N HEXANO | C6H14 | 3.6423K/m3 | 11,633.64 | 10,779.72 |
| ANHI.CARBON | CO2 | 1.8740K/m3 | 0.00 | 0.00 |
| NITROGENO | N2 | 1.1915K/m3 | 0.00 | 0.00 |

**Cuanto menor es la densidad del gas** (ocupa mayor volumen por kilogramo)**, mayor es su Poder Calorífico por kilogramo y menor por volumen.** La presencia de hidrógeno (H), un elemento muy liviano (peso atómico 1), al unirse con el oxígeno (forma $H_2O$ o sea agua) **produce la mayor cantidad de calor por kilogramo**, pero ocupa un gran volumen al estar en estado gaseoso (es un gas que se utilizó para "inflar" globos y "zepelines", pero muy peligroso por su "explosividad", se utiliza en los sopletes de gran temperatura, como los de corte "bajo el agua". etc).

Observe la tabla inferior en la que se comparan los distintos gases en su relación H/C respecto a la Eficiencia de Combustión y Transferencia referida al PCS (Poder Calorífico Superior), no solo debido a la cantidad de agua de combustión que forman, sino que la luminosidad de la llama que contiene más carbono transmite mejor en el hogar el calor radiante.




Es evidente que el usuario común recibirá el gas a una presión baja y ya con el indicador de "presencia por olor" incluido, pero de todas maneras para utilizar dicho gas habrá una estación de reducción final, antes del quemador (dependerá del tipo de usuario).

**Dicha estación de reducción final deberá cumplir con "normas establecidas"**, que en general responden a que la reducción se haga de manera de que la misma responda a una salida de **presión constante**, ya que **cualquier variación en la presión podrá afectar su uso final** (como la regulación de la combustión), **así como la protección de sobre-presión o el corte del suministro**. Es evidente que si hay válvulas de "alivio" de sobre-presión o de venteo entre etapas intermedias, estos "escapes" deberán descargar en zona libres de peligro de acumulación en el interior del edificio (o en algunos casos sobre una "antorcha" con llama piloto para que se quemen las descargas sin afectar el ambiente, esto depende de la importancia de la instalación). De igual manera los quemadores deberán tener una protección que frente a una bajada de presión de gas, los mismos se apaguen y no puedan re-encender hasta que la presión de suministro se re-establezca adecuadamente (presóstato de gas). El gas deberá venir limpio de materias extrañas y con un contenido de agua muy bajo. Además las válvulas reductoras o válvulas controladoras, deberán estar protegidas con filtros y trampas de agua. También cuando las válvulas tengan diafragmas o empaquetaduras que puedan perder gas a la atmósfera, dichas pérdidas en general se "recolectan" a un sistema de "venteo seguro" que descarga en una zona libre y fuera de donde pueda provocar una acumulación por accidente o en una tobera libre, en donde se pueda quemar sin peligro (por lo que debe haber una llama piloto para comenzar la combustión frente a las pérdidas).

**Los poderes caloríficos en los gases**, se expresan relacionados con los volúmenes, cuando es así, **debemos considerar a que presión y temperatura se refiere,** ya que el peso por metro cúbico de los componentes variará según sea la presión y la temperatura.

**Las expresiones por volúmenes de los gases tienen sentido cuando se indica la presión y la temperatura al cual el volumen está expresado.**

En este caso de los gases, a veces los volúmenes se expresan como **Nm3** (normal metro cúbico), es **1 m3 de gas a 760 mm de Hg de presión absoluta (760 milímetros de mercurio) y a 0ºC de temperatura**. Tomándose como una unidad práctica el **nm3** (metro

cúbico técnico normal) en el que se considera al gas a una presión absoluta de 760 mm. de Hg pero a una temperatura de **19,2ºC** ( o 1 Kg/cm2 de presión absoluta y 10ºC de temperatura, esto simplifica algunos cálculos cuando se trabaja con el valor molar-volumen que ocupa en m3 el peso molecular en Kg del gas-, ya que se quitan los decimales a la equivalencia de Nm3 respecto al valor molar, que en el caso del Nm3 se toma como 22,414 m3 el valor de 1 mol y en el caso del nm3 se toma como 24 m3, siendo este un numero entero que facilita los cálculos).

**Pero una medida muy utilizada es la que se refiere a condiciones estándar como que el gas está a 15ºC (59ºF en U.S.A.** , en realidad 60ºF que corresponde a 15,5ºC) **y 1 atmósfera estándar** ( 1 atm. estándar= 760 mm mercurio= 1,033 Kg/cm2 = 1.013,25 mb o sea mili-bar = 101,325 KPa o sea kilo-Pascal ó 14,7 Lb/pulg2 ó sea libra por pulgada cuadrada).

**En URUGUAY, con el Decreto 78/999 del 22/3/1999, se decretó que el m3. de gas natural deberá estar referido a una temperatura de 15ºC y 101,325 Kilo-Pascal** (similar a la norma Argentina). **Se debe tener en cuenta esta condición**, ya que **los m3. medidos para el cobro** del gas natural consumido, está referida **a esta condición de temperatura y presión**, **pero los medidores de gas, deberán ser corregidos, ya que los mismos estarán midiendo el gas a la presión del regulador de presión y temperatura ambiente** (temperatura, cuya variación se desestima en los consumos bajos, en los consumos altos los medidores podrán tener un corrector electrónico de presión y temperatura, que dé los m3. de gas ya corregidos a m3. estándar, a los cuales hay que agregar el factor de la relación de los poderes caloríficos, **P.C.S. real y P.C.S pactado**) **por cual también influye su poder calorífico** (que puede variar), este factor de **corrección o "factor de conversión"** se **multiplicará por los m3. diferencia indicada en el período por el medidor** . **Este "factor de conversión" que también debe considerar el Poder Calorífico del gas** (es decir, **se pacta** un **poder calorífico por m3**. estándar de gas, que por ejemplo en Paysandú es de 9.300 Kcal/m3 P.C.S. al año 2000)

Debemos estar atentos al "**factor de conversión**", ya que si el regulador de presión varía la regulación, el **factor de conversión** deberá variar (en los combustibles líquidos el control del consumo se puede comprobar por mediciones volumétricas o por peso, cosa que con el gas no es así, se deberán aplicar métodos diferentes o mantener un control indirecto del resultado del uso del gas).

**Pongamos un ejemplo:** el gas suministrado tiene el medidor a 800 mbars (0,8 bar) y el P.C.S. del gas es de 9.336 Kcal/m3 P.C.S., se ha pactado por 9.300 Kcal/m3 , el factor de conversión del medidor será, (calculando con **Kg/cm2**) :

**Factor conversión**=[ (1,0333+1,020x0,800)/1,0333]x(9.336/9.300)=**1,796**

ó calculando en **Bars** = [ (1,013 + 0,8)/1,013 ] x (9.336/9.300) = **1,796**
el factor en conversión es una relación y no está dado en ninguna unidad.

Los m3. leídos en el medidor de gas, deben **multiplicarse** por este factor para saber los m3. de gas a pagar : (**m3 medidor**) x **1,796** = **a m3. a pagar** (en factura).

La primera parte ((1,0333+1,020x0,800)/1,0333) corrige la variación de volumen por m3. a la presión del medidor a la presión estándar, la segunda (9.336/9.300) parte corrige las calorías suministradas a las calorías pactadas por m3. estándar. El producto de las dos, da el factor de conversión. No corrige la variación de **temperatura** (para hacerlo, se utilizan los medidores con conversión automática). De aquí vemos la importancia que el medidor trabaje a la presión pactada (observando el manómetro y manteniendo su calibración periódica), ya que si baja la presión sobre el medidor, **el mismo medirá más m3**. **que los correspondientes** (esto ocurre con la temperatura, si la misma sube por sobre la normal, medirá más m3 que lo real, en este caso, solo servirá si la compensación provocada por el promedio entre temperaturas bajas y altas, sea próximo al estándar o de

lo contrario que tenga un corrector electrónico automático para corregir los m3. medidos).

Como dijimos, el **poder calorífico superior** (PCS) de un gas se puede decir por ejemplo : **9.245 Kcal/m3** (**metro cúbito estándar : 15ºC y 760 mm. Hg absolutos**), pero también se podrá expresar en **MJ** (mega-Julios, siendo 1MJ= 238,9 Kcal.).

O podría decirse que el **poder calorífico superior** (PCS) de este mismo gas es de **12.709 Kcal /Kg** (no dependiendo de la presión, pero sí de la temperatura que se supone a un determinado valor, generalmente **0ºC**).

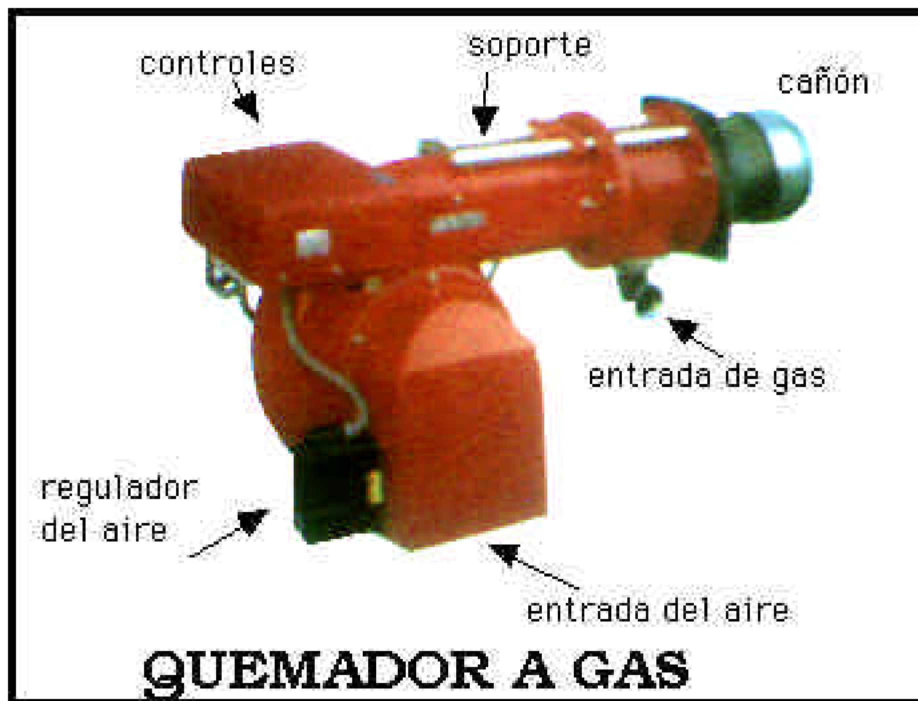
También podemos definir que para este gas (este determinado), se necesita un volumen de aire , una cantidad de aire mínima para su total combustión, diciendo por ejemplo: que 1 m3. de este gas necesita 9,8 m3. aire para su combustión total.

Pero como en los gases hay muchas variaciones de composición, se ha definido un cálculo que permite saber si un gas puede sustituir a otro en el mismo quemador y con la misma presión de gas, por medio de un índice llamado **Indice de Woobe,** cuya definición es la establecida **: entre el Poder Calorífico Superior y la raíz cuadrada de la densidad relativa** (tomando el P.C.S. en Mj/m3 y densidad relativa respecto al aire, siendo el aire =1). Por ejemplo, si el gas tiene un P.C.S. igual a 40.1 Mj/m3 y la densidad relativa es de 0,64, el indice de **Woobe** será 50,1.

A semejantes o próximos indices de **Woobe**, dichos combustibles pueden ser intercambiados en el mismo quemador sin necesidad de cambiar las toberas de inyección de gas, de lo contrario habrá que hacer cambios en el quemador cada vez que se usen diferentes gases.

Por ejemplo: Especificación general de gas natural por cañería :

| | |
|---|---|
| Poder Calorífico Superior........... | 36,51 a 41,0 MJ/m3 |
| **Indice de Wobbe** ...................... | **46,02 a 50,86** |
| Agua................................................ | 112 Kg/millón m3 |
| Punto de rocío de hidrocarbones.....máx.. | 2,2ºC a 7 Mpa (relativos) |
| Oxígeno...........................................máx. | 0,2% vol. |
| Total de azufre.................................máx... | 45,74 mg/ m3. |
| Sulfuro de hidrógeno.........................máx... | 6,0 mg/m3. |
| Mercaptán azufre..............................máx... | 4,57 mg/m3. |




**2- El quemador deberá tener todos los requisitos necesarios para la quema de gas natural:**

El manejo de gas natural "parece fácil", pero si queremos estar libres de un accidente debemos **exigir que el quemador responda a todas las normas de seguridad** (en Uruguay se han tomado las normas Argentinas, pero también la Europeas, ya que hay quemadores de todas partes del mundo), desde que **el programador sea adecuado para gas** (hay en general más consideración en el barrido-4 cambios de aire del volumen de la cámara de gases y combustión- que en los combustibles líquidos, si hay reencendido deberá hacer el barrido nuevamente cada vez (en calderas grandes no habrá reencedido, solamente post-barrido y el foguista deberá efectuar la "reposición" o el "reseteado" del quemador que se "bloqueará" por falla de encendido. de manera que el foguista pueda investigar la falla), en calderas "pequeñas" puede haber solo "chispero" para arranque directo de la llama principal, pero en las calderas más grandes deberá haber una llama piloto de gas que se enciende con el "chispero", pudiendo llegar tener llama piloto siempre prendida para evitar la presencia de gas sin quemar en algunos casos. Pero en los quemadores automáticos, **la llama piloto será interrumpible** o sea que **funcionará unos segundos con el chispero eléctrico para que prenda la llama piloto, luego unos segundos para establecer la llama piloto sola para que la "vea" la fotocélula de control de llama** (especial para gas), **el piloto permanecerá unos segundos para prender la llama principal** (unos 3 a 5 segundos más para que se establezca la llama principal, dependiendo de la capacidad del quemador), **que deberá cortar en 1 segundo en caso que el piloto se apague y/o la llama principal no se establezca**, en otros casos podrá haber un piloto intermitente, o sea que permanece prendido siempre que la llama principal esté prendida, cada caso será de acuerdo a la importancia del quemador y al tipo de caldera (según considere las normas y/o el fabricante de la caldera). **La "potencia" o caudal de gas natural de la llama principal al prender, deberá ser una fracción del caudal máximo** (o potencia máxima del quemador), que a medida que la caldera aumenta su capacidad, esta fracción disminuye (llegando a ser un 20% en las calderas más grandes). Solo en calderas de pequeña capacidad (menos de 100.000 Kcal/h) se podrá

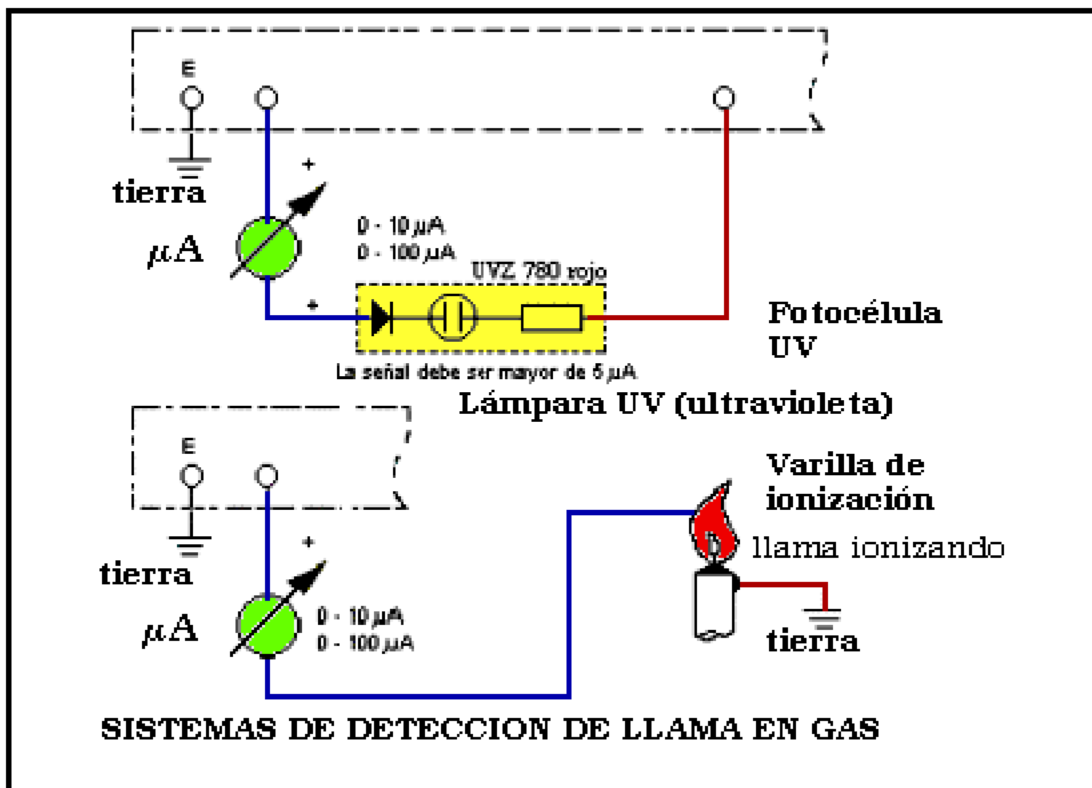
prender la llama principal con todo su caudal. **Pero, todas las válvulas habilitantes de "seguridad" del tren de válvulas que habilitan el gas al quemador deberán abrir lentamente** (para evitar un explosión de encendido) **y cerrar rápidamente** (en menos de 1 segundo en las calderas de mayor porte).

El control de llama puede ser una la varilla de ionización para "vigilar" la llama y/o puede haber un **detector de combustión** (llama) **más hacia la luz ultra-violeta en vez de la luz visible o el infrarrojo o ambos a la vez. Es muy importante respetar las normas establecidas por la autoridades de cada región o país.**

La varilla de ionización, se basa en el principio que la combustión del gas produce una ionización de las partículas gaseosas, que forman partículas con cargas positivas y negativas (que nos permite hacer circular una cierta corriente eléctrica entre dos elementos sometidos a un cierto voltaje, el aire libre de humedad no conduce la electricidad). Usando esta propiedad, la **varilla o electrodo** está a un voltaje respeto a "tierra" o sea la "**masa**" **metálica del quemador u otro electrodo**, si hay combustión se produce la conducción de corriente que activa un circuito para detectar llama, si no hay combustión la corriente no se establece y el circuito no la detecta.

**El espectro de ondas electromagnéticas que componen la luz tienen una frecuencia** (como las ondas de radio o la televisión) en las que **algunas se pueden ver, la luz luminosa que está formada por los colores básicos**, pero a **frecuencias más bajas entramos en las ondas infrarrojas** (las que detectamos por el calor que transmiten) **en el otro extremo de las ondas luminosas**, están las **ondas de luz ultravioletas** (que casi no se ven). **La combustión del gas produce más ondas del tipo ultravioletas** (casi no visibles o no visibles)**.** En los quemadores comunes, las células foto-eléctricas comunes o foto-iodos de silicio o germanio, en general **no son para el gas,** porque el gas transmite pocas ondas visibles o infrarrojas, por ello si hay una reconversión de un quemador de combustible líquido para quemar gas, este es uno de los puntos a tener en cuenta, ya que puede ser una célula exclusiva para combustible líquido, que en general detectan más ondas visibles o infrarrojas. Los **sensores UV**-ultravioletas- generalmente han sido las más utilizadas para el gas (pudiendo haber fotodiodos con filtros que se puedan utilizar o varillas de ionización). Puede ser usadas, a la vez, varillas de ionización combinados con sensores UV. El tiempo de **detectar la falta de llama es 3-5 segundos como máximo** en su respuesta (**siendo modernamente menos de 1 segundo en algunas fotocélulas**), cuando intenta "prender la llama del piloto y luego es la principal". El piloto es encendido por el "chispero", establecido antes en unos 3 segundos (no es visto por el detector de llama), debiendo prender el piloto de gas en unos 3 a 5 segundos y apagando el "chispero" para ver si se estabiliza la llama del mismo (piloto y que lo observe el "detector de llama"), provocando que se corte el gas al quemador en menos de 1 segundo si el piloto de gas no se establece y que el quemador quede bloqueado con la luz y alarma de falla activada, hasta que el operador nuevamente inspeccione y luego ponga en marcha ("reset'). O sea, que la respuesta del detector de llama es menos en general de 1 segundo y las válvulas de cierre rápido prácticamente instantánea (menos de 1 segundo), esto depende de la "potencia" de la caldera (capacidad, ver tabla más adelante). La llama principal, es prendida en un tiempo de 3 a 5 segundos, dependiendo del tipo de quemador y potencia, en la posición de mínimo llama (un 20% de la capacidad máxima en las calderas de mayor porte), si en este período la llama principal no prende, al apagarse la llama piloto de gas, el quemador se "bloquea" por falta de llama (dado que solo tiene de 3 a 5 segundos de oportunidad para prender), haciendo un post-barrido y indicando la posición de bloqueo al encender la luz de "bloqueo" y alarma sonora (con indicación de la falla en un display o el tiempo en que esta ocurrió en un dial de rotación).

**Algunas fotocélulas, que trabajan en la zona de los rayos infrarrojos, corren el riesgo de detectar el calor de los refractarios, por lo que éstas pueden provocar el no corte por falta de llama, por esta razón, deben las fotocélulas ser elegidas por un técnico capacitado y de acuerdo a las normas.**




**Las fotocélulas del tipo UV-ultravioletas- con** el circuito adecuado, pueden trabajar detectando, en el caso de algunas llamas, **una frecuencia o alternancia, que produce la combustión, de manera de que no hay forma de equivocarse al detectar la presencia de llama diferenciada de la presencia de calor de los refractarios que no producen dicha frecuencia**. A su vez, algunos de estos circuitos, tienen chequeos permanentes para saber si la fotocélula tiende a "agotarse" u otro problema que pueda provocar una falsa lectura de la presencia o ausencia de llama.

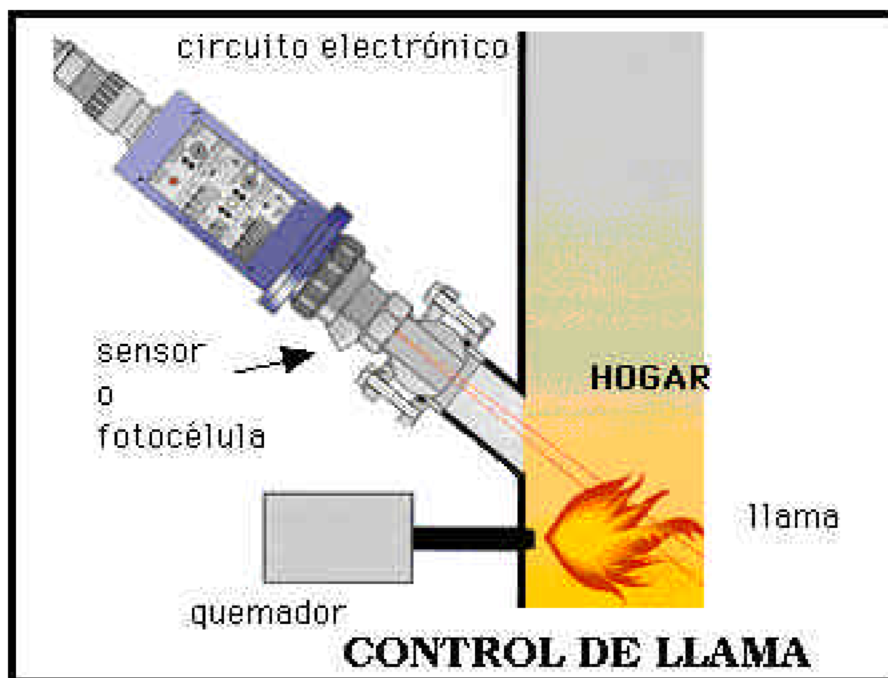
**Los sensores de llama UV y las "varillas de ionización"**, en cierta forma trabajan bajo un mismo principio, la ionización de un gas entre dos placas o elementos conductores (el gas ionizado, significa que sus moléculas se cargan positivamente y negativamente, permitiendo que circule una pequeña corriente eléctrica al ser sometidos a un voltaje entre dichas "placas" o partes conductoras).

**Las fotocélulas UV en realidad son un "tubo de vidrio"**, como si fuera una lámpara de luz (son como usábamos en las antiguas radios a válvulas y los llamábamos "diodos" por tener 2 electrodos), cerrado con placas, una que llamamos "cátodo" y otro "ánodo" y **en el interior del tubo en vez de aire o vacío hay un gas que se ioniza cuando es "iluminado" por la luz ultra-violeta**, esto permite que conduzca una pequeña corriente eléctrica que se usa para operar un "relay" que controla el circuito eléctrico del quemador.

**Las varillas de ionización,** en realidad se parece a los electrodos de del sistema de chispa del quemador, ya que un solo electrodo se le dá voltaje respecto a la "tierra" que forma el quemador por ser de metal, y el aire por si solo no se ioniza, pero al haber llama (gas en combustión) se ioniza y permite el pasaje de una pequeña corriente eléctrica que se utiliza para operar un relay que controla el circuito del quemador.

**Según las normas,** se podrán poner **dos sistemas de control de llama en paralelo** (en las **normas Americana**s se permite de manera que se pueda extraer una para mantenimiento sin tener que "apagar" el quemado, pero las **normas Argentinas solo permiten poner doble sistema de control o sea que cada control de llama trabaje independiente del otro, de manera que cualquiera de los dos que fallen, llevarán al "bloqueo" o sea al apagado del quemador**.

Cuando la potencia del quemador sea de cierta importancia (más de 5.000.000 Kcal/h) los sensores de llama control de llama deben ser "autoverificables" (es decir, capaces de probarse así mismos y bloquear el quemador si hay una falla en el sistema) especialmente si la caldera marcha en forma permanente.




Un quemador de cierta potencia, debe tener un **sensor de presión de aire** de suministro para combustión, de manera de asegurarse que el aire de combustión estará presente cuando el quemador se prenda o funcione (ya que si entra gas y no hay aire de "barrido" o de combustión, y se enciente el chispero, es casi seguro que habrá una explosión de hogar). No es suficiente el "enclavamiento eléctrico" del ventilador del quemador (ya que puede ser un ventilador que pueda romper el "acople" entre el motor y la "turbina" del ventilador). Cuando sean varios quemadores en la misma caldera estas deberán tener un sensor de presión y llama independiente en cada quemador.

**A todo estos elementos deberá sumarse el "tren" o conjunto de válvulas de seguridad** (con sus elementos de prueba de "estanqueidad" o sea pérdida de gas de las válvulas) **y control, con sus presóstatos, sensores de "posición, válvulas reguladoras, etc. como describiremos más adelante.**

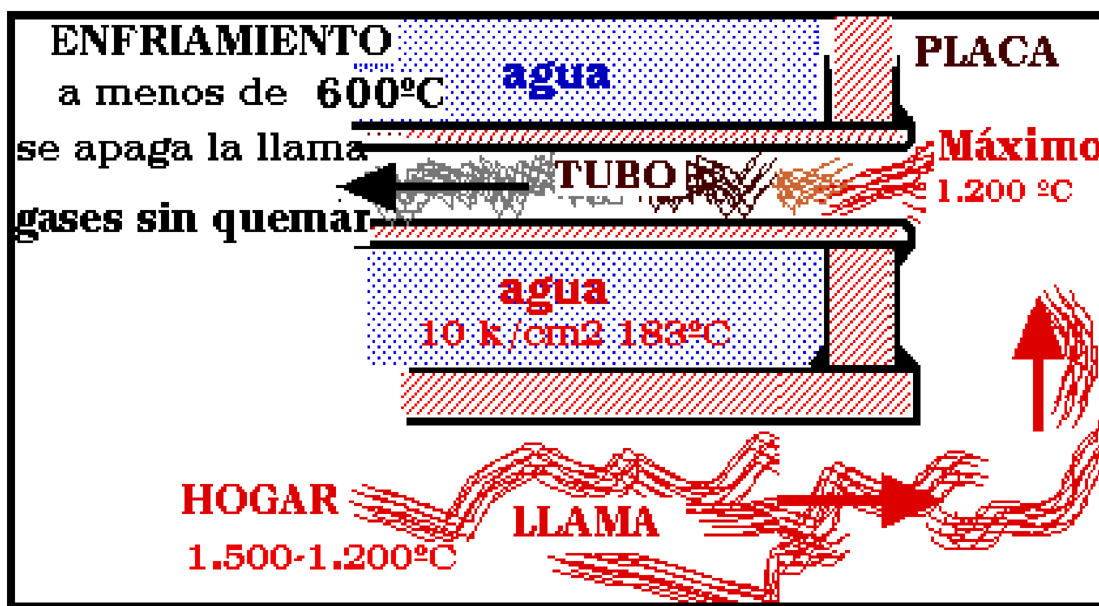
**3- La sala de calderas deberá ser adecuada:**

Es evidente que la sala de caldera **deberá tener una buena ventilación, o sea que haya permanente cambio de aire a los efectos de no acumular gas en el ambiente, ya que este podrá entrar en combustión violenta** (las mezclas pobres producen explosiones más violentas que las mezclas ricas). No olvidar que el gas natural, es una mezcla de gases, algunos livianos como el metano ($CH_4$, en casi un 95%) otros más pesados como el etano ($C_2H_6$), el propano ($C_3H_8$), **es decir que algunas partes del gas perdido irán hacia arriba del local** (la mayoría) **y otras irán hacia abajo**. En una conversión a gas, especialmente en los edificios, las calderas de calefacción "pecan" por una gran falta de ventilación. **Esta "ventilación" deberá permitir la extracción del aire o presuntas pérdidas de gas a la atmósfera y no a otros ambientes en que se pueda acumular**. Recordar que cuando ponemos extractores de aire, debemos preocuparnos por las entradas de aire, de los contrario no habrá una buena renovación de aire.

Los hogares de las calderas más antiguas por lo general estaban en **"depresión"** o sea que la chimenea produce **un "tiro" o "vacío o succión" en el hogar de la caldera con la caldera prendida** ( de unos mm. de columna de agua, dependiendo de la chimenea, altura y diámetro, temperatura de gases y tipo de caldera). Las calderas modernas tienden a tener el **hogar presurizado cuando están en marcha** (los gases son forzados a pasar por los pases de tubos y sus "retardadores" si los utiliza) y solamente habrá depresión en el hogar cuando la caldera tenga su "fuego" apagado (y la entrada de aire al quemador cerrada)

**Esto significa que en las calderas de hogar presurizados, las pérdidas de gas en combustión podrán invadir el ambiente** (es decir, que en las calderas que los quemadores "presurizan" el hogar éste podrá "escapar" al ambiente desde las tapas mal selladas del hogar o de las cajas de humo). Las que tienen en el hogar una leve depresión serán menos probables de los escapes de gases en combustión al ambiente.

**No hay que olvidar que una vez que la combustión se prolonga más allá de la entrada a los tubos, la "llama" se apaga y se generarán gases sin quema**r, estos pueden ser "perdidos" al ambiente como gases sin quemar, especialmente en la caja de humos o conexión con la chimenea, o cuando las chimeneas están "tapadas" por corrosión, hollín antiguo o desperdicios o también cuando las chimeneas son mal diseñadas o mal construidas, (a veces un incendio interno de la chimenea provoca la contracción del ducto, que no se observa desde el exterior, creando una "obstrucción" parcial, que no permite el "tiro" correcto de la chimenea).

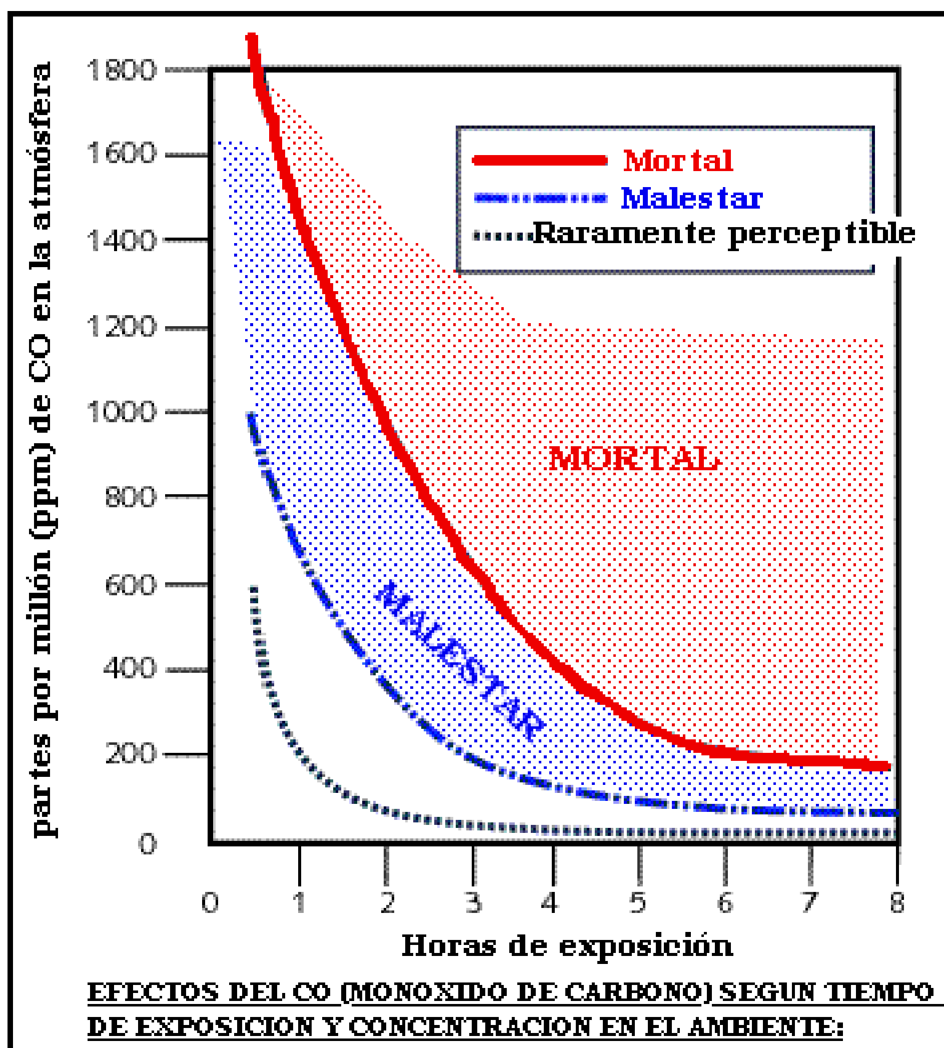



**Estos gases por mala combustión, no solo pueden llegar a ser explosivos, sino que son muy tóxicos, especialmente por la presencia de monóxido de carbono -CO-.** Recordar que el monóxido de carbono, **CO**, es un gas cuyo efecto en el cuerpo humano es acumulativo mientras se está expuesto al aire contaminado, es decir que la exposición por largos períodos al mismo, aumenta el riesgo a una intoxicación aún con bajos niveles de CO. Generalmente, antes de tener un efecto fatal, se producen dolores de cabeza, náuseas, y antes de esto hay algunos otros síntomas apenas perceptibles, veamos por ejemplo: **De acuerdo al Bureau of Standards** (paper 212), con **8% de CO en 1 1/2 hora de exposición, se puede producir la muerte, pero con 4% de CO en un poco más de 4 horas también se puede producir la muerte.** Pero, si la persona permanece largas horas en un recinto contaminado, con un % más bajo de CO, le puede ocurrir la muerte, pero habrá **otras complicaciones que afectarán su salud aunque no llegue a la muerte en ese momento,** dado que puede tener períodos de aire fresco alternados con el aire contaminado por el CO.

**El máximo % de CO que puede llegar a formar el gas natural es aprox. un 15%, situación en la cual debería haber una falta de aire de un 25%** (para llegar a la cantidad de aire mínimo) **o una muy mala mezcla del aire y el gas. Pero tener un 1% a 2% de CO en los gases de chimenea no es nada irreal** (por eso, se deben de controlar los quemadores de gas con instrumentos en forma periódica, para controlar la presencia indeseable de CO y corregir la situación, ya que en forma visual no se puede, **porque no hay humos visibles o el color de la llama no es precisa**).

Esto lleva, que fundamentalmente por esta razón y por razones económicas (pérdida de energía), el **máximo aceptable en general de CO en chimenea de la combustión con gas natural, sea de 400 ppm** (partes por millón, equivalente aprox. 0,04% de CO) **en los gases de chimenea.**

**De todas maneras, un quemador cuando es "bueno" y está "bien ajustado" , el CO debe ser prácticamente "inexistente".**




EFECTOS DEL CO (MONOXIDO DE CARBONO) SEGUN TIEMPO DE EXPOSICION Y CONCENTRACION EN EL AMBIENTE:

La composición de los humos de chimenea, si no hay CO (monóxido de carbono) y se ha utilizado el aire mínimo (sin exceso, cosa que es teórico, en la práctica siempre se usará un exceso de aire, que se tratará que sea el mínimo posible) serán aproximadamente el % en volumen :

**Composición de los gases en chimenea (Gas Natural)**

| **Componente** | **en base húmeda** | **en base seca** |
|---|---|---|
| CO2.................. | 9,90 % | 12,20 % |
| H2O.................. | 18,5 % | 0,00 % |
| N2..................... | 71,6 % | 87,80 % |

Ver la importancia del agua ($H_2O$) formada, debido a la gran cantidad de hidrógeno ($H_2$) del gas natural (en el momento del "arranque" con la caldera fría se produce por condensación una gran cantidad de agua, que se condensa en el hogar de la caldera, que luego se va evaporando, pero que es motivo de posibles corrosiones si esta operación ocurre día a día)..

**Frente a la posibilidad de una pérdida de gas (detectada por el olor): no prender ningún tipo de elemento eléctrico, alejar a las personas del lugar, llamar al servicio de gas (o servicio de bomberos) que tienen equipo adecuado y el conocimiento (además el entrenamiento).** Ver al final de este tema algunas consideraciones sobre la alimentación de gas natural a los quemadores.

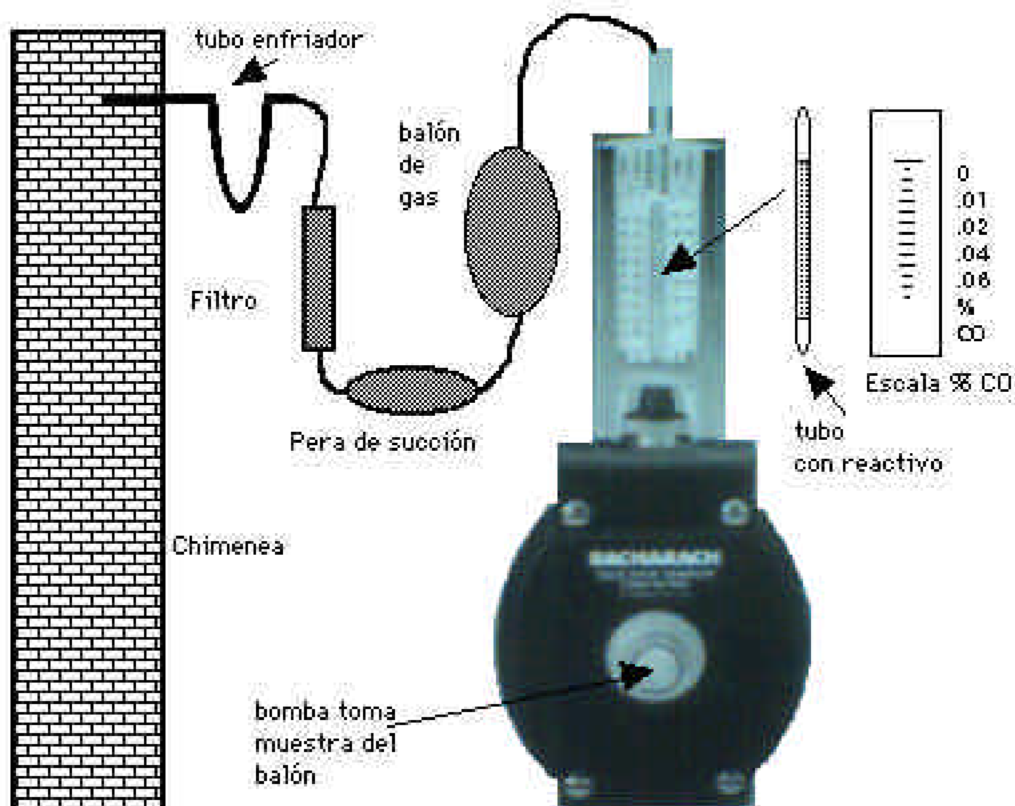
**¡ Jamás intente descubrir una pérdida de gas con un encendedor, vela o fósforo, si es necesario ver una pérdida en el quemador (o sea la parte del usuario), usar agua y jabón (ver burbujas) !**

**4- El quemador debe ser ajustado por instrumentos.**

**La combustión del gas natural no es una combustión luminosa**, con presencia de una llama visible, solamente se verá la parte central de la llama de un color difuso, no permitiendo ver en donde termina la combustión (el largo de llama). **No se observa bien la falta o exceso de aire por el color o forma de la llama.** En realidad se producen dos condiciones de combustión, una combustión con una luminosidad tenue y "azulada" (dado que el carbono y el hidrógeno entran en combustión casi directa con la mezcla de aire, debido a una mezcla perfecta, efecto llamado "hydroxylation" en inglés), otra más luminosa, de una coloración más clara "amarillenta", debido a la descomposición del gas al entrar en una zona de mucha temperatura, sin haber logrado la mezcla con el aire en forma perfecta, que hace que se descomponga el gas en sus componentes de hidrógeno y carbono o en otros componentes de carbono e hidrógeno (efecto llamado "cracking" en inglés), siendo las partículas carbono quien produce la luminosidad tipo "incandescencia", entrando en combustión al encontrar un oxígeno o de lo contrario formar un depósito o partícula de hollín si tocan una superficie fría (similar a los combustible líquidos). Este hollín puede notarse su formación al subir la temperatura de chimenea. **Pero puede haber una mala combustión no visible al final de la llama. Esto puede llevar a la formación de un hollín no perceptible en los humos de la chimenea** (pero cuando la acumulación es muy importante, su expulsión por la chimenea se nota en los "patios" y "techos").

Generalmente la combustión del gas no produce "humos visibles" como en la quema de combustibles líquidos, o sea: **no se observa bien la falta o exceso de aire por los humos**, **mala combustión** (productos sin quemar, desde el mismo gas hasta el monóxido de carbono, hidrógeno o elementos orgánicos, algunos como los ácidos del tipo "piroleñosos", que son corrosivos, además de contaminantes).

**Esto nos lleva a que cuando queramos ajustar el exceso de aire del quemador a gas, en general, se deba de utilizar instrumentos de medida del CO2 (anhídrido carbónico) ó el O2 (oxígeno) en los gases de chimenea, siendo conveniente también medir los gases no quemados o el CO (monóxido de carbono) que deberá ser el mínimo admisible según las normas locales** (generalmente menos de 400 ppm de CO o sea, 0,04% de CO) **o de lo contrario corremos el riesgo de estar en una zona de falta de aire y no poder detectarlo en forma visual.**



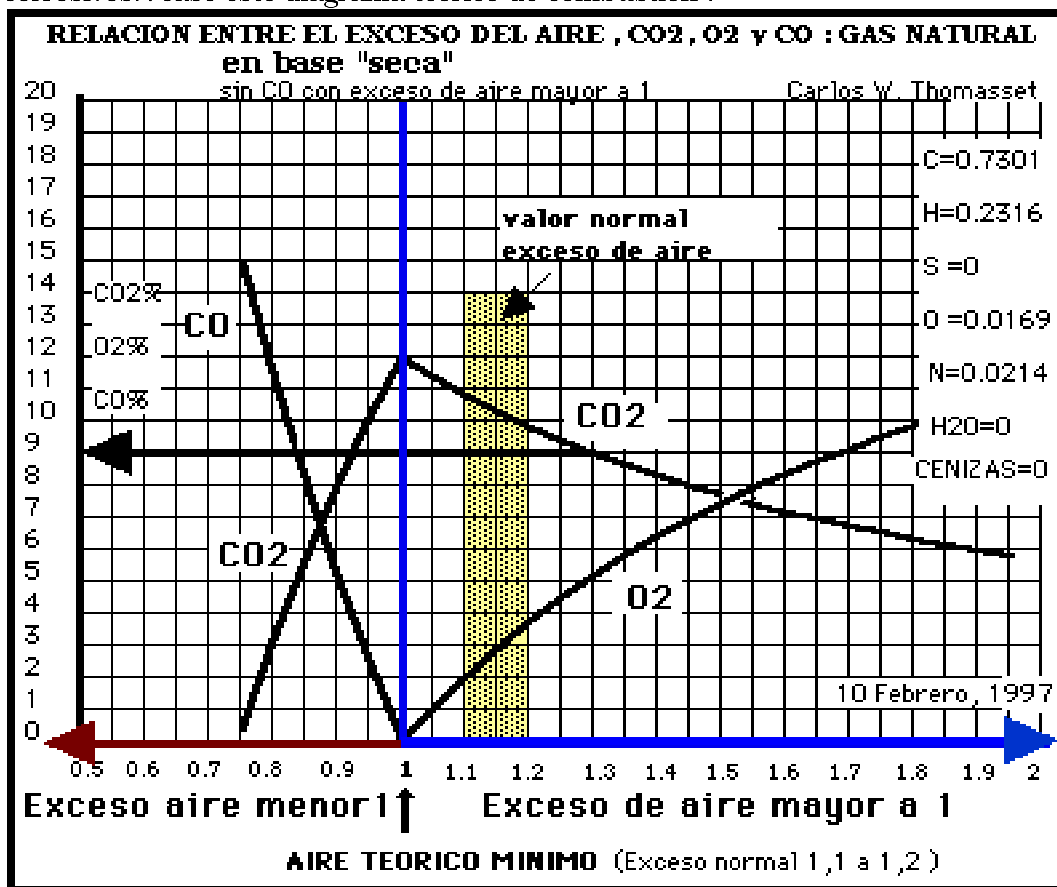

INDICADOR DE MONOXIDO (MONOXOR BACHARACH)

Como hemos dicho, la medida del monóxido de carbono (CO) en la combustión a gas es muy importante, tanto como para evitar la contaminación atmosférica como desde el punto de vista económico (ya que si hay CO, se puede considerar que hay el doble de pérdidas por otros volátiles a "medio quemar", salvo que el instrumento mida gases "sin quemar" y no solo CO). Como en la combustión de gas no tendremos humos, será importante hacer esta medición. **Para medir el CO hay varios instrumentos,** puede ser un **ORSAT** (que mide $CO_2$, $O_2$ y CO), puede ser **un instrumento eléctrico/electrónico** o puede ser un instrumento sencillo como el **MONOXOR® de BACHARACH™** (su fabricación está discontinua, pero existen en uso estos equipos)**.** El **MONOXOR®** para medir el **CO,** se basa en hacer pasar una cantidad medida del gas de chimenea, que se almacena previamente en un balón de goma (que se llena con gas de chimenea a través de un enfriador y un filtro, impulsado con una pera de goma que hace de bomba). Este gas del balón, medido por una bomba calibrada en volumen, se hace pasar por un "tubito" que se encuentra lleno de una sustancia como "arenosa" de color amarillo, que al pasar **una determinada cantidad de gas succionado por una bomba del propio Monoxor®, si el gas tiene CO hace cambiar el color amarillo a un color oscuro**. Será mayor el largo del cambio de color del tubito a medida que el % de CO lo sea, en una escala estará indicando el % de CO (luego de usar una vez, si el tubito no se ha oscurecido más de la mitad, el tubito se puede invertir y usar una vez más en ese momento). **Su fabricación está discontinuada por BACHARACH™.**

**Por lo general cuando se quema gas no se debe tener un CO mayor al 0,04% de CO** (400 ppm)**.** Ver gráfica siguiente.

Si bien los valores máximos de $CO_2$ en los gases son menores que los de los

combustibles líquidos (por mayor cantidad de hidrógeno respecto al carbono), si sólo medimos el $CO_2$ ó el $O_2$ , **corremos el riesgo de estar en una zona de falta de aire y que haya una cantidad de gases sin quemar no visibles por el color de la llama o el humo en chimenea**. Esto no solo es contaminante, es **una pérdida económica** que puede ser muy importante, además, estos gases de chimenea pueden llegar a ser muy corrosivos.Véase este diagrama teórico de combustión :

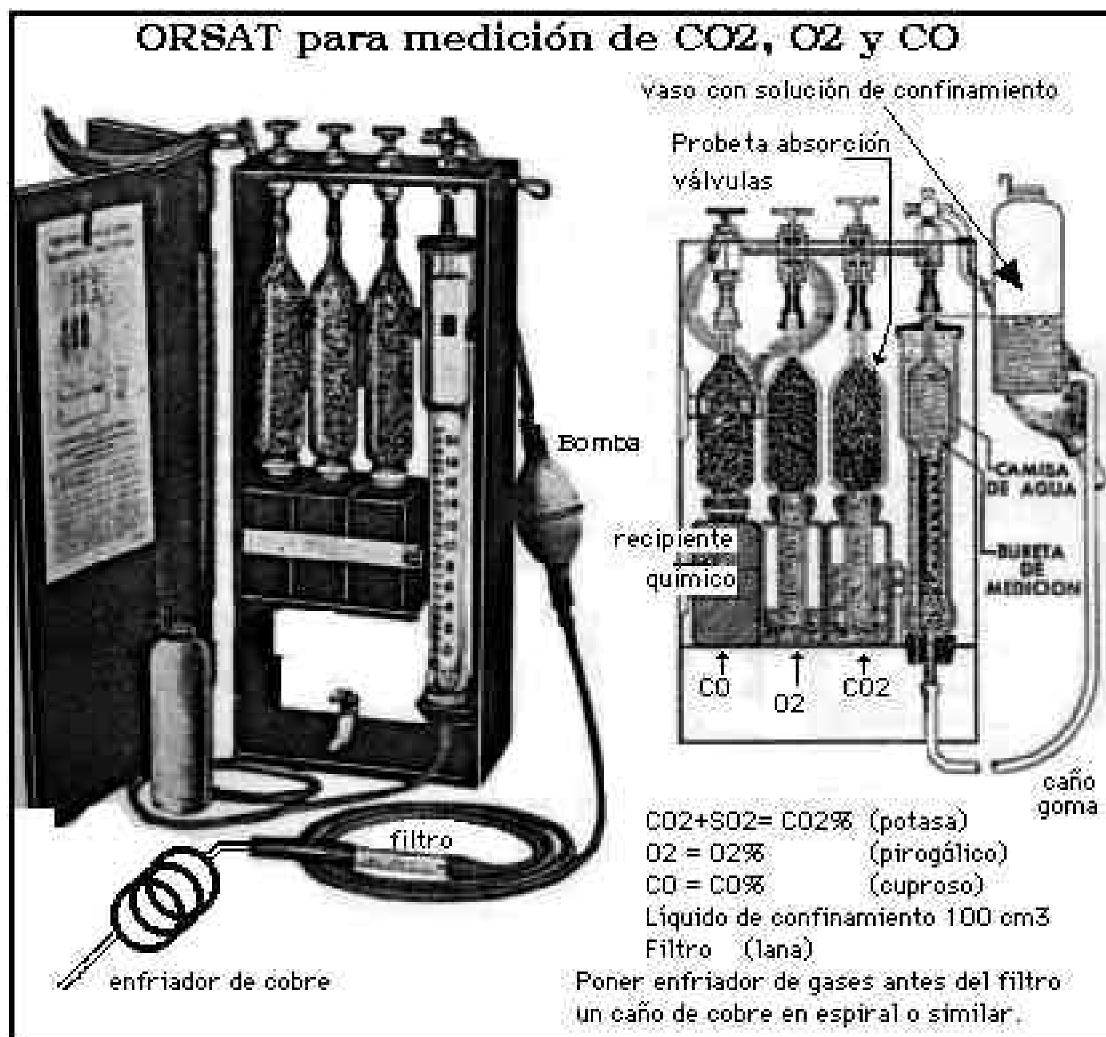



Es decir que **para una misma medida de $CO_2$ podemos estar en una zona de exceso de aire o falta de aire**. De todas maneras, si también medimos el oxígeno y hay un exceso, tampoco quiere decir que este corresponde a un exceso de aire real, ya que puede haber sobrante de oxígeno por una "mala combustión" (sea por una mala mezcla del aire y el gas, o por enfriamiento excesivo de la llama o por falta de tiempo de combustión en el hogar). Esta situación no aparece en este diagrama, sí aparece en el triángulo de OSTWALD, el cual aconsejo se use para estudiar los problemas de combustión.

Para el cálculo del exceso de aire, generalmente se usa una fórmula matemática en la que se involucra el $CO_2$, el $O_2$ y el CO, de ésta manera, cualquiera sea la composición del combustible, el cálculo dará el exceso de aire.

Todos estos equipos de medición por medios químicos (Fyrite®, Mono, ORSAT, etc.) **en base seca**, la medida del $CO_2$ incluye también la presencia de $SO_2$ (anhídrido sulfuroso), que volumétricamente responde en la misma relación que el $CO_2$ con respecto al oxígeno (para el cálculo del exceso de aire), es decir lo tomamos como $CO_2$ cuando en realidad es una mezcla de $CO_2$ + $SO_2$ (la incidencia del $SO_2$ es muy baja en la variación del % de lectura del exceso de aire al tenerlo en cuenta como $CO_2$, dado el relativamente bajo

contenido de azufre de los combustibles respecto al carbono).




**EL ORSAT**, es un aparato muy "antiguo", pero todavía útil para **medición de gases de combustión**, ya que si bien su medida no es de muy alta precisión, su lectura es relativamente segura si se usa en combinación con un triángulo de OSTWALD. Su funcionamiento se basa en tomar una muestra preenfriada, a través de un filtro de lana, aspirado por una bomba de goma (tipo "peluquero"), la muestra es empujada a través de una bureta de medición graduada en de 100 cm3 (que está sumergida en otro recipiente lleno de agua para mantener la temperatura de la muestra lo más estable), el gas impulsado se hace escapar a través de un vaso lleno de un líquido de "confinamiento" (líquido que no absorbe los gases y que nos permitirá subiendo o bajando el vaso, impulsar o aspirar el gas a través de los distintos líquidos de absorción). Una vez que pasó suficiente gas de chimenea por la bureta de medición (como haciendo un lavado con gases para asegurarnos su constitución original), maniobramos las válvula de entrada y escape a la atmósfera, de manera de que con el vaso enrasamos el cero (**0** equivalente a **100 cm3** de muestra, enrasando a igual nivel la superficie del líquido de confinamiento en la bureta y en el vaso, de manera de no comprimir o expandir la muestra de gas) de la bureta. Antes

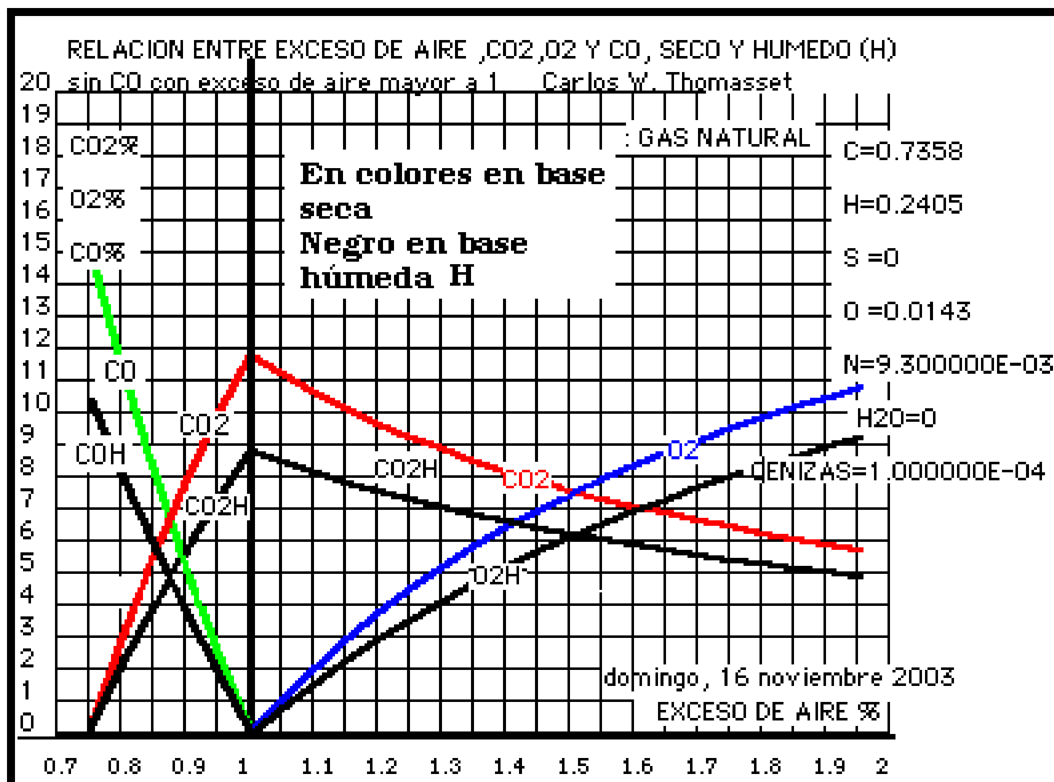
de hacer esta maniobra de "atrapar" 100 cm3 de gas, debemos de enrasar todos los líquidos de absorción en cada cámara de absorción (en donde están los **rellenos,** tubitos de vidrio o virutas o alambres de cobre, que se empapan del líquido de absorción para poder absorber selectivamente cada gas; esté llena hasta la marca que tiene en el cuello más fino). Luego empujaremos el gas para que entre totalmente en la primera cámara de absorción (para absorber el $CO_2$ y $SO_2$, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso, que es absorbido por una solución fuerte de potasa), repetimos la maniobra de empujar y volver el gas a la bureta de medición tantas veces como sea necesario para que en la bureta de medición la lectura sea constante (cuidando de volver el líquido absorbente a la misma marca de enrase en su recipiente, ya que cada cámara de absorción descarga el líquido a un recipiente sellado a la atmósfera por un globo para que no entre en contacto con el aire, el líquido de absorción tiene unos 100 cm3.). **Luego, con la lectura constante, la lectura de cada 1 cm3 o 1 ml. será el % de $CO_2$%** (para hacer esta lectura enrasar los niveles de la bureta y del vaso, cuidando el efecto de los "meniscos" del líquido de confinamiento en ambos sean iguales).

**Aquí el gas restante será menor a 100 cm3** (dado que pierde el **$CO_2$ y $SO_2$,** podría además perder algún gas ácido, **pero se toma todo como $CO_2$ dado la baja influencia del $SO_2$ y gases ácidos en el %**). **La lectura será en base seca** (gases secos). Ahora **absorberemos el $O_2$** (utilizando para ello como absorbente al ácido pirogálico, un derivado de la madera, que no debe estar en contacto con la atmósfera, porque sino pierde efectividad debido a la presencia del $O_2$ del aire). **Una vez absorbido el $O_2$, la medida en la bureta será el faltante del $CO_2+SO_2+O_2$, por lo que el $O_2$% será la diferencia entre esta lectura y la anterior del $CO_2$%** (+$SO_2$)**.** Luego absorberemos el **CO** (para ello usaremos una solución con cloruro cuproso), **la lectura de esta medida será el $CO_2+SO_2+O_2+CO$, por lo que el CO% será esta lectura menos la anterior.**

Los líquidos de absorción deben ser preparados en la medida que se observen problemas de absorción (hay que repetir la maniobra muchas veces para absorber, ya la coloración y la viscosidad dan una idea de que hay una cambio en los mismos, especialmente en el pirogálico y el cuproso, teniendo en cuenta que el **cuproso es venenoso**).

**Luego para una mejor utilización del ORSAT y su interpretación**, conviene utilizar un diagrama de OSTWALD, ya que si bien podemos saber el exceso de aire **por medio de una fórmula en la que intervienen los 3 elementos medidos** ($CO_2$%,$O_2$% y CO%, ver abajo una fórmula para calcular el exceso de aire con combustión incompleta, en la que participan el $CO_2$ , $O_2$, CO, en relación seca) **sin necesidad de conocer la composición del combustible**, cosa que para trazar el triángulo de OSTWALD es necesario conocer su composición (no olvidar que el triángulo de OSTWALD es la relación de l**os gases de combustión en relación seca** o sea con el vapor de agua condensada).

$$£(ex.aire) = \frac{(1 - CO_2 - O_2 - CO)}{(1 - CO_2 - 1{,}5\,CO - ((O_2 - 0{,}5\,CO)/0{,}21))}$$



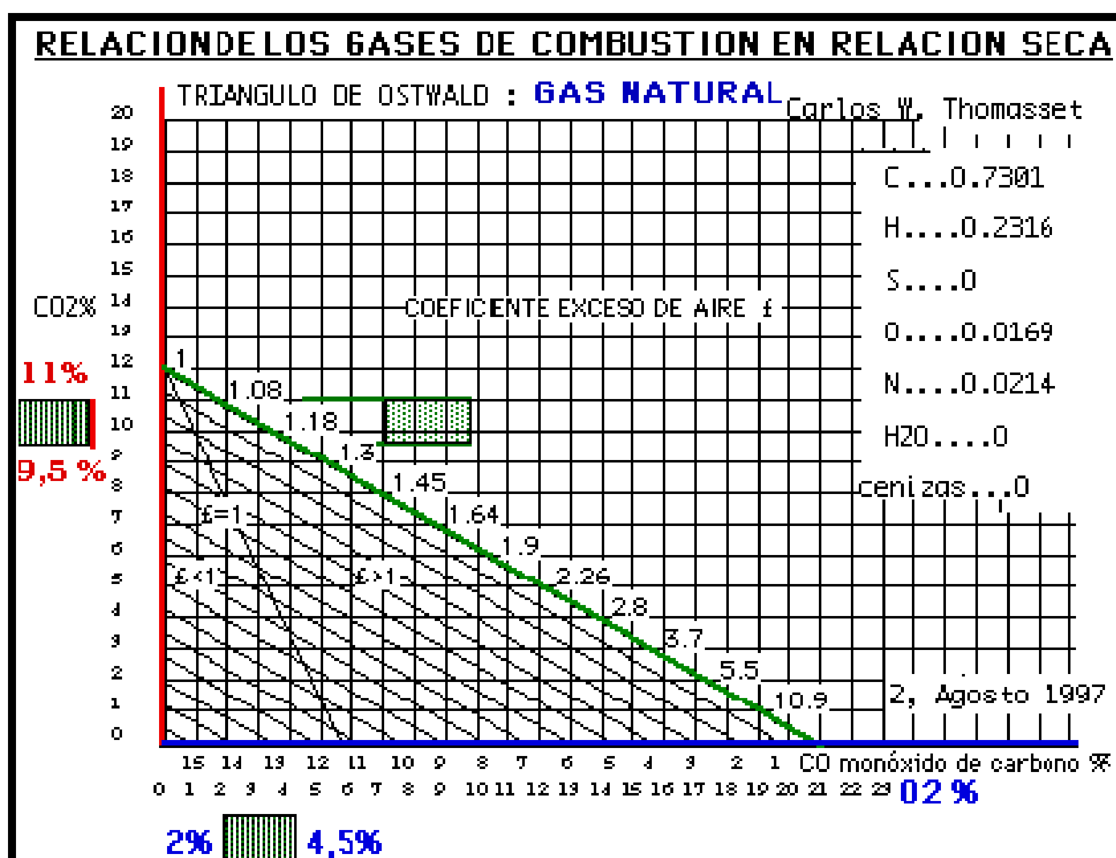

**Observar en la gráfica superior, la diferencia entre la relación en % de los gases de chimenea en base** "**seca**" **y en base** "**húmeda**" (CO2H, O2H, COH) **para el gas natural** (es decir, como se encuentra en la chimenea y no como se encuentra cuando es tomado por un instrumento que lo enfría y condensa toda o parte del agua de combustión y humedad del combustible y del aire de combustión). Los instrumentos que reflejan la medida en base "Húmeda", el más común son la celdas de óxidos de zirconio (que trabajan introducidas en el interior de la chimenea, a alta temperatura, u otros instrumentos que trabajan a altas temperaturas que no permiten que se produzca la condensación del agua. Los instrumentos que llevan los gases a la temperatura ambiente del aparato de medición y no son por "absorción", como el Fyrite®®, el ORSAT, dan la relación de gases con un % tan bajo de humedad, que su valor es prácticamente en base seca, además si quisiéramos una mayor precisión deberíamos corregir por la temperatura en las condiciones de la medición).

**El triángulo de OSTWALD EN LA UTILIZACIÓN DEL GAS NATURAL**

Para facilitar el trabajo de ajuste en los quemadores, se puede utilizar el triángulo de **OSTWALD**, una relación de gases en **base seca** (es decir que la humedad-agua de combustión y humedad del aire y del gas- que se encuentran en los gases de combustión, se supone condensada), es una gráfica que relaciona estos mismos valores, pero cada gráfica **se traza para un solo tipo de combustible**, ya que la misma responde a la composición específica de cada combustible. En las **verticales se trazan los valores de CO2% en volumen** (CO2 + SO2), **en la horizontal el valor % del oxígeno** (siendo el máximo de O2 para el aire del 21% en volumen), **partiendo del CO2% máximo o sea punto en que el aire utilizado es el "mínimo" o "estequiométrico", no sobra ni falta**

**aire: que en gas natural aproximadamente es de un 12%,** (es el punto en que todo el oxígeno es consumido o sea igual a 0%) se traza una línea hasta unir con **el oxígeno máximo** (21% de O2 y 0% de CO2 o sea sin gases o exceso de aire infinito). **Sobre esta recta estarán los valores de exceso de aire con combustión completa** (con CO igual a 0%), **en las paralelas a esta hipotenusa estarán los valores crecientes de CO en %**, siendo el máximo CO la unión entre el CO2 igual a 0% y el oxígeno igual a 0%, que en este caso será 15,5%). Este triángulo de **OSTWALD** se trazó basándose en la composición promedio de un gas natural. De acuerdo a lo dicho, cuando se ajuste un quemador que funcione a gas a gas natural, se debe medir el CO2 o el O2, además los gases sin quemar o el CO (monóxido de carbono), para ello podemos utilizar medidores independientes o un **ORSAT**. El **ORSAT** mide por **absorción química** el **CO2** (más el SO2), el **O2** y el **CO**, basados en estas 3 mediciones, podemos con un triángulo de OSTWALD, razonar lo que está pasando con el quemador, o calcular matemáticamente el exceso de aire.

El ORSAT es un instrumento muy usado desde hace muchos años y si bien no es de alta precisión, es muy útil y en un país como el nuestro su uso todavía es muy conveniente.




El trazado varía de acuerdo a la composición del gas, aunque en términos generales en una zona de suministro, se mantiene relativamente sin grandes cambios.

En este triángulo de OSTWALD para gas natural, estamos recomendando que el exceso de oxígeno (O2) entre 2% y máximo 4,5%, el anhídrido carbónico (CO2) entre 11% y 9,5%, esto equivale a un exceso de aire entre 8% y 23% aprox..

## EL TRIANGULO DE OSTWALD

Este gráfico, es un sistema visual de ver el resultado de la combustión, está trazado en % de volumen de los **gases secos** y se usa de la siguiente manera:

Es un triángulo formado por el cateto vertical (ordenadas) por el **CO2% de cada combustible en particular** (cada triángulo solo es válido para cada combustible, ya que su trazado responde a la composición química del combustible y de la atmósfera terrestre al nivel del mar, y con los **gases secos**), **en la cual el CO2% corresponde a la suma de CO2% + SO2%** (dado que ambos elementos necesitan en volumen o molarmente la misma cantidad de oxígeno y como los instrumentos de absorción absorberán a los dos, además la incidencia del SO2%, anhídrido sulfuroso es por lo general bajo), **o sea que el valor máximo será el máximo CO2% del combustible** (la suma CO2%+SO2%, cuando el aire necesario corresponde al mínimo o estequiométrico, con combustión completa). **Este CO2% máximo será mayor a medida que la relación hidrógeno/carbono disminuye** (H/C) o sea que el combustible tenga más carbono en relación al hidrógeno (podemos ordenar los combustibles de mayor contenido de hidrógeno a menor: por lo general gases naturales, combustibles líquidos livianos son los que contienen más hidrógeno y con más contenido de carbono a los combustibles líquidos pesados , como el Fuel Oíl, y por lo general los combustibles sólidos como la leña, lignitos, carbones en general).

**En el cateto horizontal** (abscisas), **se traza el % de O2** (oxígeno atmosférico, aprox. 21% en volumen) **hasta 21 %.**

**La hipotenusa será el punto de intercepción de la combustión completa, en donde se unen los valores correspondientes a cada determinado valor de CO2% y O2%, indicándose a partir de 0% de exceso** (aire mínimo o estequiométrico, expresado como **£=1**, que no sobra el O2, es 0% y el CO2% es el máximo), pasando por todos los valores hasta el infinito exceso de aire (£= ∞), **cuando el O2% es 21% o máximo, valor que solo se dá en la realidad cuando no hay combustión.**

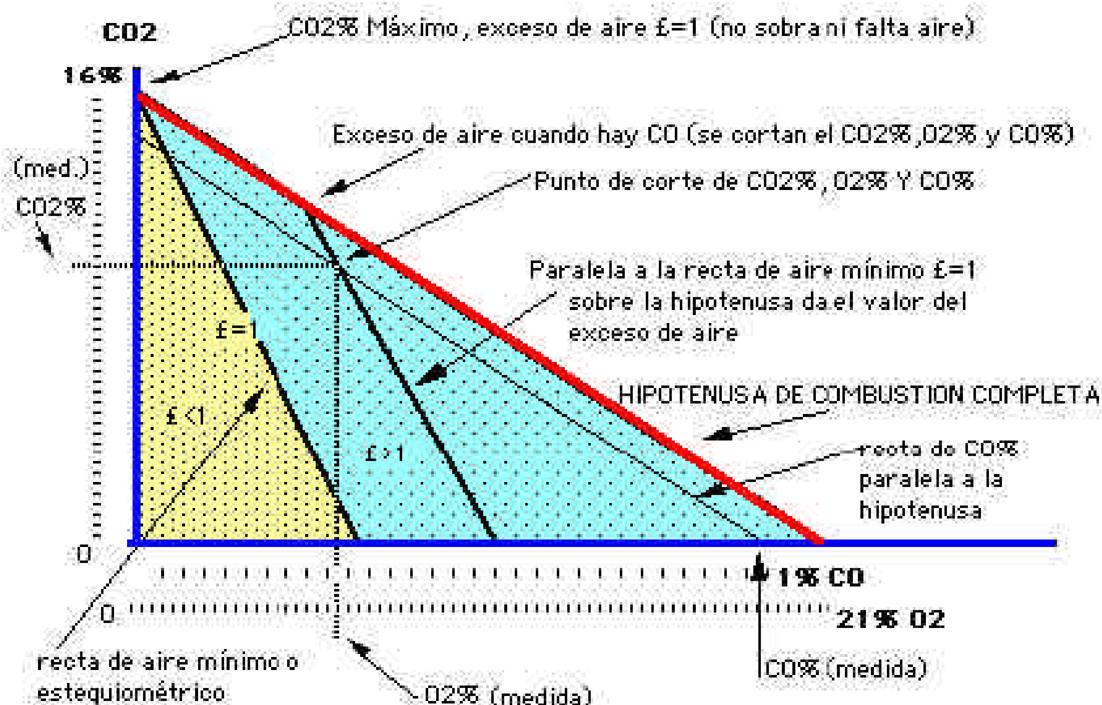
**Paralelo a la hipotenusa, se trazan los valores de cada % de CO** (monóxido de carbono), siendo el **máximo CO se produce cuando el CO2% es 0 y el O2% es 0.** Este valor máximo del CO es diferente para cada combustible, al igual lo que ocurre con el CO2%, siendo el valor mayor a medida que disminuye la relación hidrógeno/carbono (H/C), es decir, cuanto más carbono tenga el combustible (siendo máximo en los carbones y celulósicos, disminuyendo un poco en el F.Oíl, otro poco a medida que los combustibles líquidos tienen menos densidad, bajando aún más en los gases orgánicos, como en el gas natural, etc).

**Cuando no se dá que las medidas de CO2% y el O2% coincidan en la hipotenusa** (combustión completa), **el punto de intersección será sobre una zona en que habrá mala combustión o sea, que hay un % de CO.** Por lo general las lecturas no cierran en punto, sino en un triángulo (cuyos vértices serán CO2-O2 , CO2-CO y O2-CO), en este caso se tomará como punto el centro de gravedad del triángulo, o sea, la intersección de las mediatrices de los lados.

**Para saber el exceso de aire** (£) **correspondiente a dicho punto, debemos de trazar primero una recta que indican los puntos del exceso de aire £ = 1** (exceso de aire igual a 1, aire mínimo, o estequiométrico o sea, que no sobra ni falta aire). **Esta recta va en el punto de intersección del CO2% máximo y O2% = 0, siendo el otro punto el O2% correspondiente al CO2% = 0 cuando el aire es el mínimo** (estequiométrico). **Una vez trazada esta recta, se dividirá el triángulo en 3 zonas, a-la de la menor valor en abscisas , falta el aire** (£<1)**, b-sobre la recta, aire mínimo** (£=1), **c-sobre los valores mayores de O2% a partir de la recta** (£>1)**, será la zona de exceso de aire** (sobra el aire).

**A partir de paralelas a esta recta, del lado derecho o donde sobra el aire, la intercepción de dichas paralelas con la hipotenusa, darán el exceso de aire correspondiente al punto interior al triángulo.**

**Como se ve, este triángulo, da todas las posibilidades de combustión** (aunque se puede trazar un triángulo "corregido" a los valores de CO%, ya que se ha detectado que cuando hay CO, también hay gases combustibles como el hidrógeno sin quemar, aunque, consideramos que a fines prácticos, estos triángulos teóricos son suficientes, ya que el resultado buscado deberá ser la combustión completa).




**El croquis anterior, indica los parámetros más importantes en el triángulo de OSTWALD.** Recordar que a la derecha del la recta de aire mínimo o estequiométrico ( £=1), sobrará el aire. Si al medir, hay CO no es por falta de aire, sino que solamente hay mala combustión, los valores de CO2% y O2%, caerán en la zona de £>1 (exceso de aire mayor a 1) y si medimos el CO%, este dará un valor, que crece desde la hipotenusa hacia el interior del triángulo, siendo el mayor valor de CO%, el punto de intersección en que el CO2% y el O2% son igual a cero (0%). Este valor de CO máximo, será de un valor mayor en aquellos combustibles con menor relación de H/C (menor cantidad de hidrógeno respecto al carbono).

**CONSIDERACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL GAS NATURAL AL QUEMADOR**

Dada la importancia de la alimentación del gas natural al quemador (ya que las explosiones de hogar son muy peligrosas), proceso que obliga a usar **elementos reguladores de presión**, **elementos de cortes de seguridad del gas** (es muy peligroso cualquier pérdida de gas que entre al hogar de la caldera por el interior del quemador al estar este apagado o apagarse, así como que la reguladora de presión dé una presión mayor o menor al quemador), así como el **chequeo de que las válvulas funcionan correctamente** (tanto en forma de ver ópticamente si están cerradas o abiertas, así como el control eléctrico lo compruebe con un micro, con elementos automáticos de venteo en caso de fallos de asientos, como presóstatos de baja y alta presión de gas) y en el caso de que las **válvulas de seguridad de corte** (**por lo menos 2** en calderas de más de 630.000 Kcal/h (2.500.000 BTU/h o sea aprox. más de 1.050 Kg/h de vapor), además de la **válvula de regulación de alimentación del gas** al quemador (que irá en relación mecánica con la válvula o mariposa de regulación de aire de combustión, de manera de mantener la relación de aire/combustible).

En el siguiente cuadro hemos puesto la normas aconsejadas por el **NATIONAL BOARD** (Estados Unidos), que transcribe normas de **IRI** (Aseguradoras de Riesgos Industriales), **ASME** CSD-1 (**Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos**, Controles y Elementos de seguridad para calderas Automáticas 1992) y la **NFPA 8501** (Operación con un único quemador para caldera 1992).

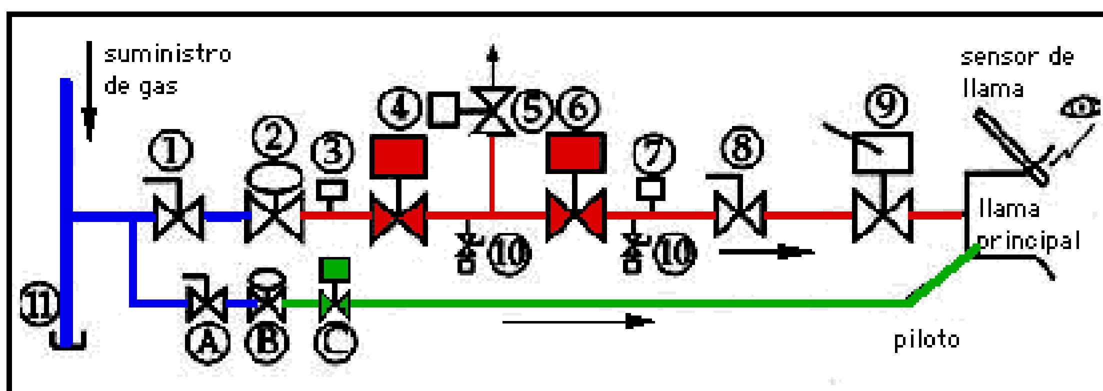
Por supuesto que esto es para U.S.A., pero refleja correctamente el problema de seguridad en las calderas a gas natural.

| BTU/Hr. ( BTU X 0,252 = Kcal /hora) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 400.000 | 2.500.000 | 5.000.000 | 12.500.000 |
| **Kw** | | | | |
| 0 | 117 | 732 | 1.464 | 3.663 |
| Una sola válvula de seguridad de cierre | Una sola válvula de seguridad de cierre | Dos válvulas de seguridad de cierre, una con prueba de cierre | Dos válvulas de seguridad de cierre, una con prueba de cierre | Dos válvulas de seguridad de cierre con línea de venteo entre válvulas, las dos válvulas con prueba de cierre. |
| ← CSD-1 → | | | | ← NFPA 8501 → |
| | ← IRI → Dos válvulas de seguridad de cierre con venteo entre válvulas | | | |

**TREN DE VALVULAS DE SEGURIDAD DE CIERRE GAS NATURAL REQUERIDOS POR EL ASME CSD-1, NFPA 8501 y el IRI**

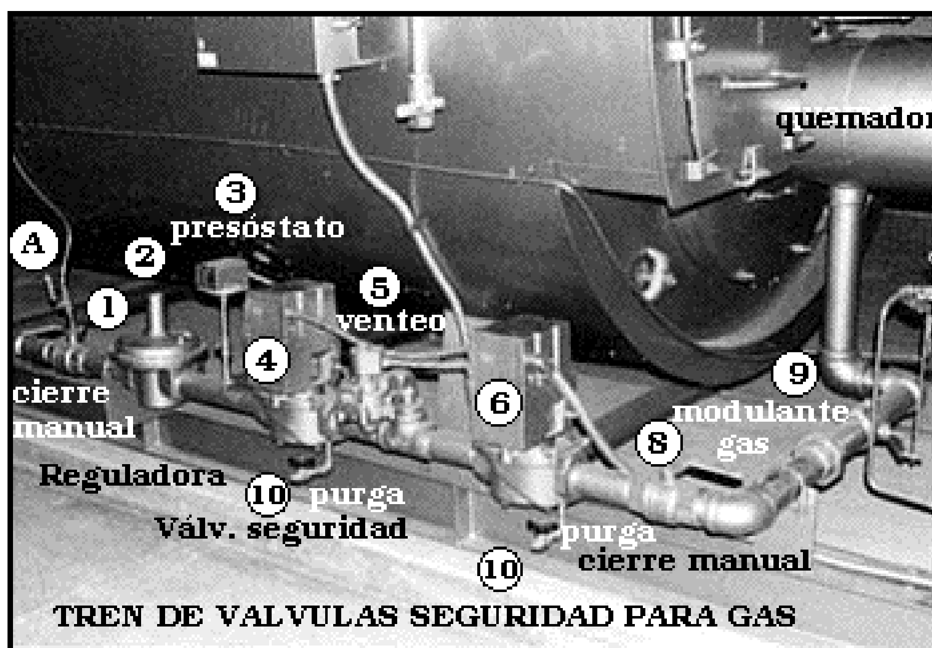
En **Uruguay** se han aplicado **normas Argentinas y Europeas**, que en este Manual dado su propósito (información general), **describiremos una instalación con las normas Americanas (NFPA 8501)**, de manera de tener una idea de un sistema de una capacidad media. Aunque, **también iremos interponiendo las normas Argentinas (ENERGAS) de aplicación en Uruguay**.

Veamos ahora un croquis de un tren de alimentación para gas natural (un ejemplo simple y de mínimo requerimiento por algunas normas, luego veremos otro ejemplo más concreto, aceptado por la **NFPA 8501** para calderas de más de **>12.500.000 BTU**, o sea una **caldera aprox. de más de 5.000 Kg/h de vapo**r), en el cual veremos **2 válvulas de corte de seguridad** (que cortan el gas inmediatamente, menos de 1 segundo, al quemador por fallas de baja presión de gas, alta presión del gas, permiten controlar el gas para que prenda y apague el quemador, apaga el quemador por bajo nivel de agua, o falta de llama piloto, o falta de llama principal, o falta de presión de aire de combustión, así como otros controles necesarios para la puesta en marcha y mantenimiento de la misma: posición mínima de llama para la puesta en marcha, válvulas cerradas, tensión eléctrica aceptable, etc.) y los **elementos necesarios** ( como la que indica la **norma IRI** aconseja para calderas con quemadores de más de 100800 Kcal/h (400.000 BTU/h) equivalente aprox. a una caldera de más de 150 Kg/h de vapor.




**CROQUIS DE TREN DE VALVULAS DE REGULACION Y SEGURIDAD: GAS NATURAL**

El gas natural viene por **la cañería de suministro a más presión que la que usará el quemador**, generalmente vendrá "arrastrando" elementos que "ensucian" el gas (óxidos, partículas de la cañerías y sus accesorios, etc), así como puede ser agua de condensación, para ello podrá haber un filtro, pero lo importante es que haya un "pié" (drip leg, en inglés,) en el croquis el **Nº11**, que recolectará estas sustancias indeseables (que podrá limpiarse cada tanto). Luego el gas irá por dos caminos, la alimentación de la llama piloto (válvula manual **A**) y la alimentación del gas principal (válvula manual **Nº1**) del quemador (combustión principal). Esto puede variar en algunos casos. Ambos suministros tendrán **una válvula de corte manual** (la **A** para la piloto y la válvula **Nº1** para la llama principal), que permite el cierre seguro para poder trabajar en el mantenimiento y cierre seguro del sistema. Estas válvulas son muy importantes y **deben ser de 1/4 de vuelta** (generalmente válvulas esféricas adecuadas para gas). Podrá haber un manómetro que indica la presión de suministro y luego **un manómetro en cada sección de presión regulada**.




**Por supuesto, que fuera de la sala de calderas, debe haber una válvula manual de corte del gas a las calderas** (de la misma manera que en las calderas de combustible líquido, así como una forma de cortar la corriente eléctrica).

**La alimentación del piloto de encendido** (de un consumo muy bajo respecto al consumo principal) irá, además con su válvula manual de corte (**A**), una válvula reguladora de presión (**B**) y una válvula de cierre de seguridad (**C**) y luego irán los elementos de alimentación del propio quemador a la llama piloto (generalmente la válvula de seguridad (**B**) serán 2 válvulas de solenoide, como veremos en un ejemplo más adelante, con hasta un venteo entre válvulas si la potencia así lo indica).

Podemos dividir en tres la forma que opera el **piloto de encendido** de gas: "**Piloto continuo**" (el que permanece permanentemente prendido durante el servicio, aunque la llama principal no esté operando); "**Piloto interrumpido**" (el que se enciende automáticamente cada vez que sea necesario prender la llama principal, apagándose una vez de finalizado el tiempo de encendido) y "**Piloto intermitente**" (aquel que se enciende automáticamente cada vez que se hace necesario la puesta en marcha de la llama principal y permanece prendido mientras la llama principal lo está).

**El piloto de gas es de un % bajo del consumo de gas principal** (en general menos del 3%, aunque en calderas "pequeñas" puede haber quemadores de **encendido directo con la chispa eléctrica de la llama principal, que hasta unas 100,000 Kcal/h**, la llama principal puede prender con todo su valor nominal, teniendo 3 segundos de chispa de intento de encendido como máximo, pasando luego hasta unas 500,000 Kcal/h, **como máximo. a ''arrancar" con un valor menor de la capacidad total, entre 30% hasta 300.000 Kcal/h** y **un 20% como máximo de llama al arrancar hasta un máximo de 500.000 Kcal/h de potencia**, valor por lo cual **no se permite un quemador con "arranque directo" con la chispa eléctrica, de manera de evitar una '"contra-explosión" por retardo de encendido**, **siendo el tiempo máximo de intento de encendido del "chispero eléctrico" no más de 3 segundos** (responde a normas Argentinas).

**Esto mismo ocurre con las calderas con piloto de gas, que cuando más grande es**

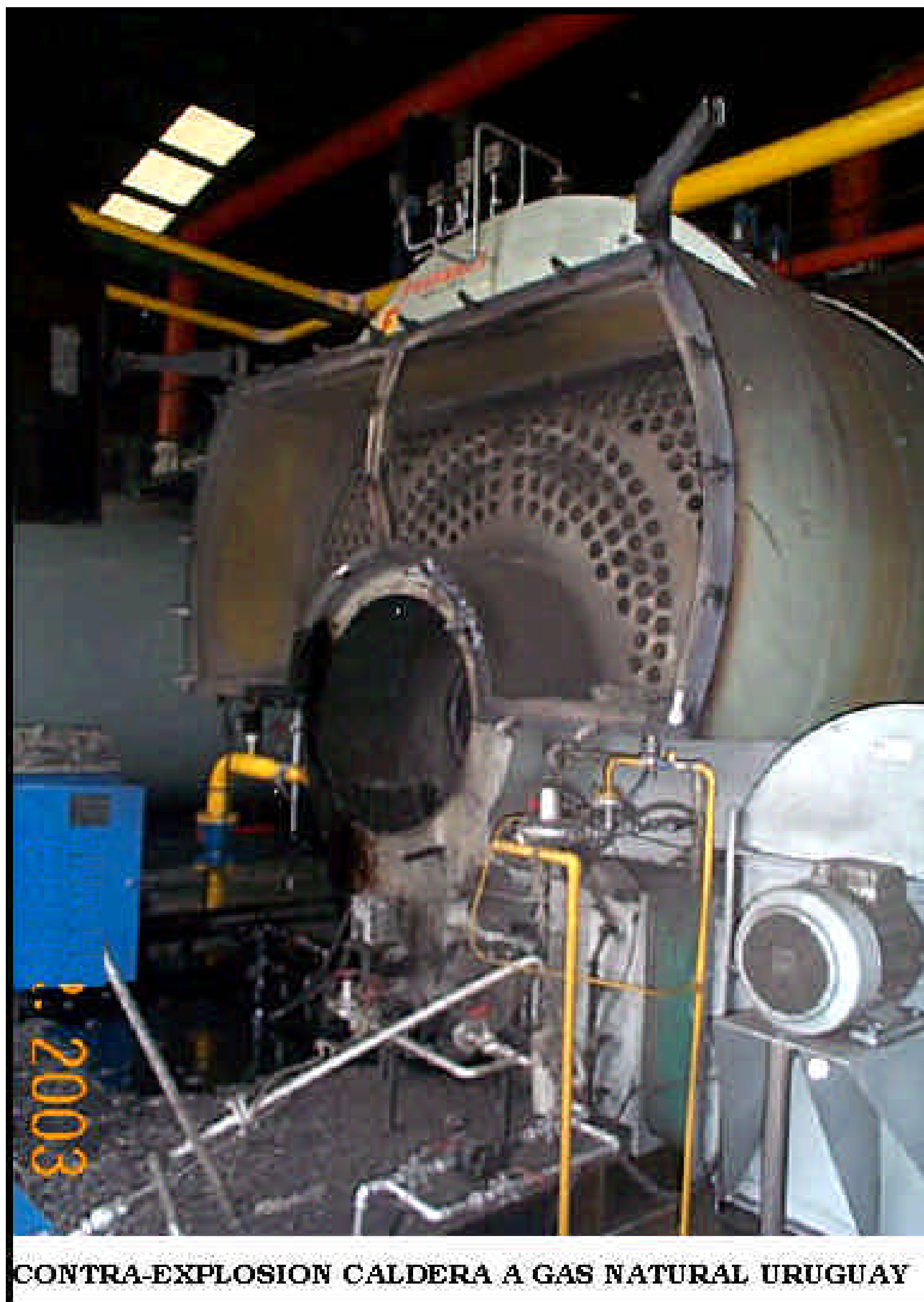
**su potencia, menor será el % de la llama principal en su arranque, llegando a valores de hasta un 20% de la capacidad total y la llama piloto no más del 3% de la capacidad de la llama principal** (prendiendo al 100% de la llama principal hasta las 100.000 Kcal/h, un 35% dela llama principal hasta las 300.000 Kcal/h y de un 20% como máximo de la llama principal a partir de los 300.000 Kcal/h) y con **una apertura lenta de las válvulas de alimentación de gas de seguridad** (abrirán en 10 segundos como mínimo hasta las 10.000,000 Kcal/h y se abrirán más lentamente a partir de este valor, no menos de 20 segundos)**,** pero de **cierre rápido, menos de 1 segundo**, de manera que al prender se evita una "contra-explosión" por retardo de encendido de la llama principal. **Aquí el "piloto de gas", encendido por un "chispero eléctrico", tiene por lo general más tiempo de "seguridad de encendido, siendo de 15 segundos hasta las 300.000 Kcal/h y por encima de este valor, el tiempo baja a un máximo de 10 segundos, actuando el "chispero eléctrico" un tiempo menor, de manera que habrá un tiempo de "estabilización" de la llama del piloto de gas de unos 5 segundos, que permite controlar la llama piloto esté en condiciones , recién luego empezará la apertura lenta de las válvulas de seguridad de la llama principal** (no olvidando que el control de llama, tanto de la piloto como de la llama principal, cortará la combustión en las válvulas de seguridad que cerrarán a partir de las 300.000 Kcal/hora en menos de **1 segundo**). **A partir de que la capacidad de la llama piloto supere las 50.000 Kcal/h, se instalará un sistema de seguridad de doble válvulas automáticas con venteo entre ambas.**

**Solamente se admite el "reencendido o el rearranque" del quemador si ha pasado 1 segundo de la falla de "extinción de llama", en calderas hasta 100.000 Kcal./h**, **no permitiéndose el "reencendido o rearranque" en caldera automáticas de mayor potencia** (debiendo ir al "bloqueo" en menos de 4 segundos máximos, suma de todos los tiempos del control de llama y válvulas de seguridad). **Habiendo un "post-barrido" de unos 15 segundos o más, para "sacar" los gases que se han introducido y no han "prendido".**

**La alimentación principal de gas al quemador,** llevará la **válvula de corte** manual (**Nº1**), luego irá la **reguladora de presión** (**Nº2**), vigilando la presión mínima del gas, irá un **presóstato de mínima presión Nº3** (apagando el quemador si esto ocurre, pero no podrá rearmarse por si solo, deberá ser rearmado por el operador, quien comprobará la presión de suministro y la regulada, antes de proceder a rearmar el presóstato). **Para el corte de seguridad, habrá dos válvulas** (la **Nº4** y la **Nº6**) de **cierre rápido en general** (y de apertura lenta, esta apertura lenta será mayor su tiempo de apertura a medida que aumenta la potencia de fuego, por ejemplo: hasta 10.000.000 Kcal/ no menos de 10 segundos de tiempo de apertura, siendo a partir de este valor no menos de 20 segundos, **esto es muy importante para establecer la llama en forma "suave" y no "brusca", lo que podría provocar una "contra-explosión"**), **el cierre de menos de 1 segundo** cuando la potencia lo requiera, teniendo en determinada potencia (ver tabla anterior) **un indicador del estado en que se encuentra la válvula** (abierta o cerrada). Para asegurarse que la primer válvula de seguridad de cierre **Nº 4** (en el caso que no cierre bien el asiento) **habrá una válvula de venteo** (**Nº 5**) que abrirá **cada vez que cierre la válvula** (**Nº 4**) (**venteando el gas que quede atrapado entre las dos válvulas de cierre de seguridad**, de manera que si la segunda válvula de cierre de seguridad (**Nº6**) pierde, al cerrar totalmente, lo que al no haber presión de gas entre las dos válvulas de cierre, el gas no pasará por la válvula (**Nº 6**) al quemador, sino a la atmósfera por el venteo (que podrá ser dispersado o quemado en un dispositivo especial en una zona segura). Luego de la **segunda válvula de seguridad de cierre irá un presóstato** (**Nº 7**) **que apagará el quemador si la presión del gas es mayor a la regulada** (teniendo también que ser rearmada manualmente, ya que una vez que apaga el quemador no permitirá que prenda si el operador no lo rearma manualmente). Luego entre el tren y el quemador irá una

**válvula manual de corte** (**Nº 8**), que permite el cierre manual del gas al regulador de gas del quemador, (esto permite probar el tren de regulación y corte de seguridad, la llama piloto, sin que el quemador sea encendido o alimentado con gas). Luego irá una **válvula que regulará el gas natural al quemador** (**Nº 9**), según sea la necesidad de gas de acuerdo a la presión de la caldera de vapor o a la temperatura de la caldera de agua caliente. **Habrá purgas en partes bajas del tren** (**Nº 10**), **que permitirán extraer agua de condensación** (o probar si hay pérdidas de gas por medio de "burbujas" en un recipiente con agua, conectando un tubo flexible a la válvula y sumergiendo la punta del tubo bajo el agua en un frasco, de acuerdo a las burbujas por minuto se puede establecer un límite máximo de pérdida admisible)**. En calderas más pequeñas, se podrá disponer de válvulas "monoblock", con probadores de pérdida de las válvulas principales.**

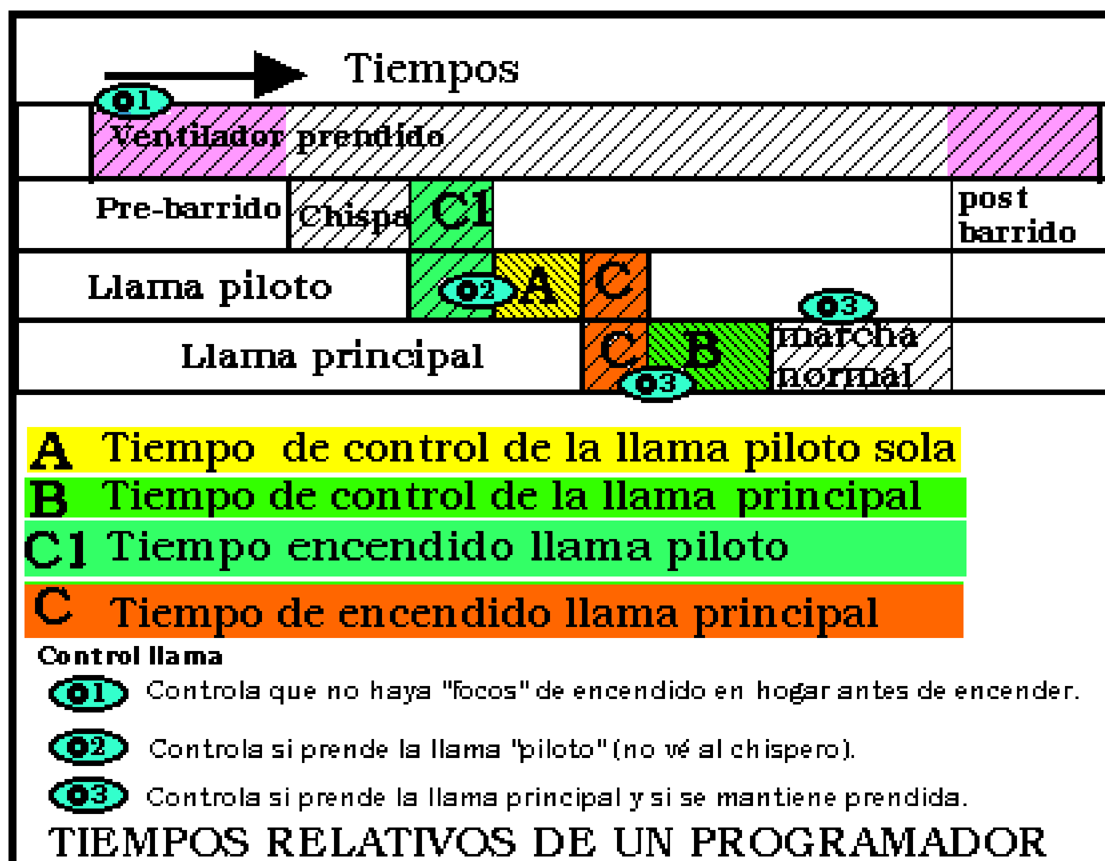
**El quemador a su vez tendrá los elementos de seguridad necesarios** (vigilancia de llama piloto y la principal, cortando el gas al cerrar las válvulas de seguridad **Nº 4** y **Nº 6, menos de 4 segundos de la falta de llama. sumando todos los tiempos, pero las válvulas en sí mismo deben cerrar en menos de 1 segundo**), **tiempos de "barrido" adecuados para barrer los gases** adecuadamente antes de encender (por lo general no menos de **4 cambios de aire** en el interior del hogar y tubos o **90**' segundos, con el "**damper**" **abierto un 60%**) y **al apagar un post-barrido** (ventilando los gases de combustión al apagar, evitando su acumulación dentro del hogar, ya que estos gases tienen gases que pueden quedar sin quemar). **A esto hay que agregar otra serie de "pruebas" o "chequeos" que debe y puede hacer el programador**, **tanto en marcha, como parado y especialmente antes de proceder a "arrancar"** (como un micro que indica que una válvula de cierre de seguridad está cerrada, que el sistema está en la posición mínima de arranque, o se el motor modulante a llevado al mínimo el control de aire y la válvula de gas, general menos del 25% de la capacidad total, que la fotocélula no detecta llama o focos ígneos visibles en el interior del hogar, que hay presión de aire en el suministro de aire al quemador, etc.) **y luego todos los demás elementos de comando y seguridad de la propia caldera** (presóstato o termostato de comando, presóstato y termostato de límite máximo de seguridad, control de presencia de nivel de agua (generalmente doble), etc. como los sistemas de "enclavamiento" de las bombas de circulación en las calderas de agua caliente o de los "sensores" indicadores de circulación de aceite en las calderas de aceite caliente o sea aceites térmicos).



CONTRA-EXPLOSION CALDERA A GAS NATURAL URUGUAY

Como hemos visto, este sistema nos permite probar cada una de las partes en orden : el tren de la llama principal o de potencia, sin alimentar el quemador (cerrando la **Nº 8,** y

sin la llama "piloto" cerrando la **A**), probar solamente el chispero de la llama piloto (y con ello el tiempo de barrido y los mecanismos de barrido y posición de mínimo y máximo aire, los micro de seguridad de "válvulas de seguridad cerradas", no presencia de focos de ignición antes de encender, etc.), luego probar el "piloto" de encendido a gas en su "tiempo de seguridad" (o sea que el chispero eléctrico ya "cortado", pero con la llama de gas piloto encendida (**A** en el diagrama inferior) , que si no la "ve" la fotocélula el quemador en los segundos de "seguridad" corta a la llama piloto y el quemador queda "bloqueado"), y luego habilitando la válvula **Nº8** de la alimentación principal de gas, se prueba todo el quemador (en que la llama principal tendrá su "tiempo de seguridad" (**B** en el diagrama inferior) en el cual ya la llama del piloto auxiliar de gas se ha apagado. Se puede probar antes de habilitar el quemador (de abrir la **Nº8**, cerrando la válvula **Nº1, que el quemador se bloquee por falta de presión de gas o porque la fotocélula especial para gas deja de ver la llama a cerrar el gas de entrada a la llama principal**). **Todas estas pruebas, dependerán de cada instalación, según las instrucciones del fabricante del quemador y la caldera, adecuada a las normas locales.**




**En una palabra, el "programador", hará una serie de chequeos** según sea su marca y las normas que cumplan, por lo general, antes de proceder a comenzar una ciclo de encendido, hace una serie de comprobaciones: **Una vez que el presóstato de presión de vapor** (o termostato de agua caliente) **"cierran" dando la orden de prender el quemador** (pero que **también deberán habilitar los controles de nivel,** ambos, el presóstato límite, y otros límites, como válvulas de seguridad de gas cerradas, **probadores estanqueidad de las válvulas de seguridad**, etc., se suceden: **1- que ventilador que suministra el aire esté encendido y haya presión de aire de combustión**; **2-que no haya un foco**

**"visible" para el detector de llama de un punto del interior del hogar** (ojo, debe ser visible por el sensor de llama, cualquiera sea éste, por lo cual puede haber focos en partes no visibles, que pueden ser causas de explosión, **debido a que la caldera está sucia de hollín por haber funcionado a F. Oíl o por mala combustión del propio gas natural**; **3-comprobar que las válvulas de suministro de gas estén cerradas**; **4-provocar un barrido del hogar y la zona de tubos de varios cambios de aire** (no menos de 4 cambios o 90 segundos con apertura total de suministro de aire), **previo comprobar que hay presión de aire en la cámara de aire del quemador** (sensor de presión de aire); **5-comprobar que el "barrido" se hizo con la apertura total del suministro de aire o una mínimo del 60%** (por una micro de máxima apertura); **6-antes de comenzar el ciclo de "encendido" de llama** (chispero, piloto auxiliar y llama principal) **comprueba si el aire y la válvula moduladora de combustible está al "mínimo de arranque"** (por lo general a menos del 25% de potencia total del quemador); **6-prende el chispero eléctrico unos segundos** (primero, según sea, el chispero solo, por lo general unos 3 segundos), luego se "cruza" el gas del piloto auxiliar para "prenderlo", **de todas maneras el sensor de llama no debe ver la chispa "eléctrica"** (u otra fuente de calor) **en ningún momento, para evitar errores**; ; **6- prende la llama "piloto auxiliar de gas"** (de garrafa o de cañería, que vigilada por sensor de llama, debe prender por lo general **entre 3 y 5 segundos máximos**, (tiempo **C 1**) o según normas, a veces hay preferencia por el gas de garrafa para el piloto por tener una llama "como más caliente" por ser más visible), **y apaga el chispero dejando solo el piloto de gas bajo control del detector de llama unos segundos** (ver si la llama piloto **es estable,** por lo general de **5 segundos máximo** (tiempo **A** ), dependiendo de muchos factores). **7- luego prende la llama principal al "mínimo"** (controlando el mínimo presión y máxima presión de gas estén dentro de los parámetros de trabajo a partir del momento de habilitar la llama principal, las válvulas de seguridad se abren lentamente y la válvula de modulación de gas está al mínimo, que por lo general es menos del 25% de la capacidad total), **y la llama piloto se apaga a los pocos segundos**, **haciendo un "cruce" de tiempo de contacto con el gas de la llama principal** (de **3 a 5 segundos,** según sea, tiempo **C**) **de manera que la llama principal tiene un tiempo para establecerse no muy grande, que si no prende en el primer momento** (el sensor de llama en segundos, en menos de 1 segundo a un máximo de 3 segundos, si la llama no es detectada, corta las válvulas de seguridad del gas, que **cierran en menos de 1 segundo**), **el quemador se bloquea y hace un "post-barrido" para "barrer" los gases que no han prendido** (**el quemador queda "bloqueado" hasta que el operador vea la razón de la falla y luego recién "resetea" el programador, de manera que toma conocimiento de que hay una falla**).

**Las fallas estarán indicadas en distintas formas según sea el programador** (en un display electrónico, o indicando en que momento se produjo el bloqueo si es "rotatorio", etc.).

**Si el quemador prendió normalmente**, **hay un tiempo que el quemador espera que la llama se estabilice** (que por lo general pueden ser **3 a 5 segundos,** tiempo **B**), **luego de este período recién el quemador comienza a modular, tomando la carga de acuerdo a la orden del presóstato o termostato modulante.** Cuando la presión de la caldera lo haga apagar por el "corte de presión de vapor" (un presóstato) o su temperatura (un termostato), **el quemador se apaga** (previo a bajar al mínimo si es modulante) y **hace un "post-barrido" para "sacar" los gases que puedan haber quedado al apagarse el quemador** y la mezcla al ser "pobre" puede provocar una explosión de "retardo". En este caso el quemador queda a la "orden" para comenzar un nuevo ciclo de encendido normal.

**Las válvulas de seguridad de corte de gas, por lo general son 2 válvulas** (o una válvula doble en un mismo cuerpo, en calderas pequeñas)**, abren en forma "lenta"** (varios segundos) **y deben cerrar en forma "rápida"** (por lo general menos de 1 segundo).

**Estas válvulas deben tener entre sí un "venteo" a la atmósfera o a un colector de**

**venteo que lleve el gas a un lugar seguro** (que irá a la atmósfera si se puede o en donde se quema con una llama piloto) **cuando las mismas están cerradas, de manera que no se produzca una pérdida de gas al interior del hogar**.

**Otros sistemas en vez de venteos, tienen un sistema de prueba de estanqueidad de las válvulas** (hay más de un sistema de prueba: uno que utilizando una pequeña bomba de gas, hace subir la presión unos milibares por encima de la presión normal entre la dos válvulas cerradas y por medio de un presóstato controla si la presión "baja" en un determinado tiempo; otro consiste en probar paso a paso las dos válvulas de seguridad, controlando que la presión no baje en determinado tiempo entre las válvulas, esto prueba la válvula más próxima al quemador, o al "vaciar" el gas entre las válvulas, controla que no suba la presión por pérdida de la primer válvula). En quemadores "pequeños" las válvulas pueden estar en un mismo "cuerpo", con el sistema de prueba o venteo incluido, etc.

**Es muy importante que las válvulas de seguridad de la llama principal y de la llama piloto, no permitan bajo ningún concepto que entre gas al hogar si estas están cerradas, ya que esto puede ser una causa de explosión de hogar.**

**Luego que el quemador está correctamente prendido, se deberá ajustar la relación aire-combustible, en todo el rango de "carga" del quemador, cuidando además de no "pasar" la potencia máxima de combustión** (ya que esto puede provocar "aflojamiento" de los tubos que son mandrilados o mandrilados y soldados a la placa más caliente).

**No olvidar que la llama del gas natural no es muy visible para el ajuste visual** de la r**elación aire a combustible**, es conveniente disponer de instrumentos que midan el **exceso de aire** (entre 10% a un 20%) y **la buena combustión**, midiendo los **gases no quemados** (o monóxido de carbono, CO, que debe ser menor a 400 ppm, aprox. 0,04% de CO, aunque un buen quemador debe dar un valor casi nulo de CO), que pueden existir por **falta de exceso de aire o por un problema de combustión** (mala mezcla del gas con el aire, hogar demasiado pequeño para lograr la combustión completa, llama muy fría, etc.).

**Recordar que la relación de aire/combustible** (exceso aire respecto al gas) **cambia si cambia la presión de la reguladora de gas** (si la presión del gas sube, faltará aire y si la presión del gas es menor, habrá un exceso de aire).

**El gas natural por lo general no dá muestras de "humo" en la chimenea, pero puede llegar a producir "hollín"** (muy fino y muy aislante, inclusive este puede colaborar para una explosión de hogar).

**5- el personal debe ser cuidadosamente instruido y entrenado.**

**Todo lo que sea necesario en tiempo e inversión, en la instrucción y entrenamiento** (simulado y real), **es la mejor inversión cuando se usan quemadores de gas** (dado que todo parece fácil, por lo general, si no hay problemas, con el tiempo se producen los descuidos por falta de entrenamiento, lo que puede llevar a dolorosos episodios de accidentes).

**PROBLEMAS DE LOS QUEMADORES DUALES** (F. Oíl y Gas Natural)

**En Uruguay, por lo general el suministro de gas natural está sujeto a "cortes" de suministro, especialmente cuando no se paga una tarifa especial.**

Esto lleva a que las empresas deban tener **quemadores "duales"** (que funcionen a **F. Oíl**, u otros combustibles líquidos y a **gas natural**). El problema que se plantea es que cuando se utilizan combustibles como el **F. Oíl pesado y mediano**, las "toberas" u orificios de los anillos de gas (por donde se suministra el gas natural en el interior del hogar) **pueden quedar "tapados"** (sucios de escorias y de combustible que obstruyan los orificios de entrada de gas) **y además pueden quedar restos de F. Oíl, "escorias" u hollín** (en el interior del hogar) **, lo que hacen "peligrosa" la puesta en marcha con gas, tanto que sin comprobar que las entradas de gas están libres de "obstrucción"** (o que **puedan haber focos de ignición en el interior del hogar**, que puedan provocar el encendido a una mezcla explosiva del gas en un retardo de encendido, **sumadas a posibles "destilaciones" de restos de F. Oíl que desprenden gas combustible con el calor residual**).

**Esta obstrucción de las toberas de entrada de gas al hogar, al estar "tapadas" o "semi-tapadas" no suministrarán el gas en forma adecuada en el momento del "arranque"** (cuando el quemador está en posición de "arranque", **luego del barrido y vuelta al "aire mínimo de arranque" con la válvula modulante de gas al mínimo**), **y esto provoca que el gas no se enciende inmediatamente en forma estable, dado su baja presión, por su caudal pequeño de baja carga o "arranque"** (generalmente menos del 25% de la carga máxima y con las válvulas de seguridad abriendo lentamente)**, entrando en una zona que la llama piloto no lo pueda encender, pudiendo producir dentro del hogar de combustión una mezcla sin encender , una mezcla de "gas pobre"** (una cantidad de gas en baja relación respecto al aire), **que entre en ignición en forma violenta, provocando una "explosión de hogar". Esto se agrava si los "restos" F. Oíl están vaporizando gases combustibles** (destilando con la temperatura que queda al apagar el quemador, depósitos de combustible que ha ensuciado el hogar y los tubos)**, que unidos al gas natural que entra, aumenta la posibilidad de hacer una mezcla explosiva de un valor importante. Esta mezcla de gas que no ha prendido, no necesariamente prende por que el hogar se "llena" y lo prende la llama piloto, sino que puede prender con cualquier "foco" de calor que se encuentre en forma "latente" bajo el hollín y lo haya "reavivado" el barrido de aire al comenzar el ciclo del quemador, un foco de calor por encima de los 600ºC es suficiente para provocar la explosión** (esto lamentablemente ya ha ocurrido en el Uruguay, pagando el precio de le "inexperiencia" los foguistas, que no han recibido el entrenamiento por los "suministradores" de los quemadores o del gas, estas empresas debieron entrenar lo suficiente a los foguistas que operan este tipo de quemadores).

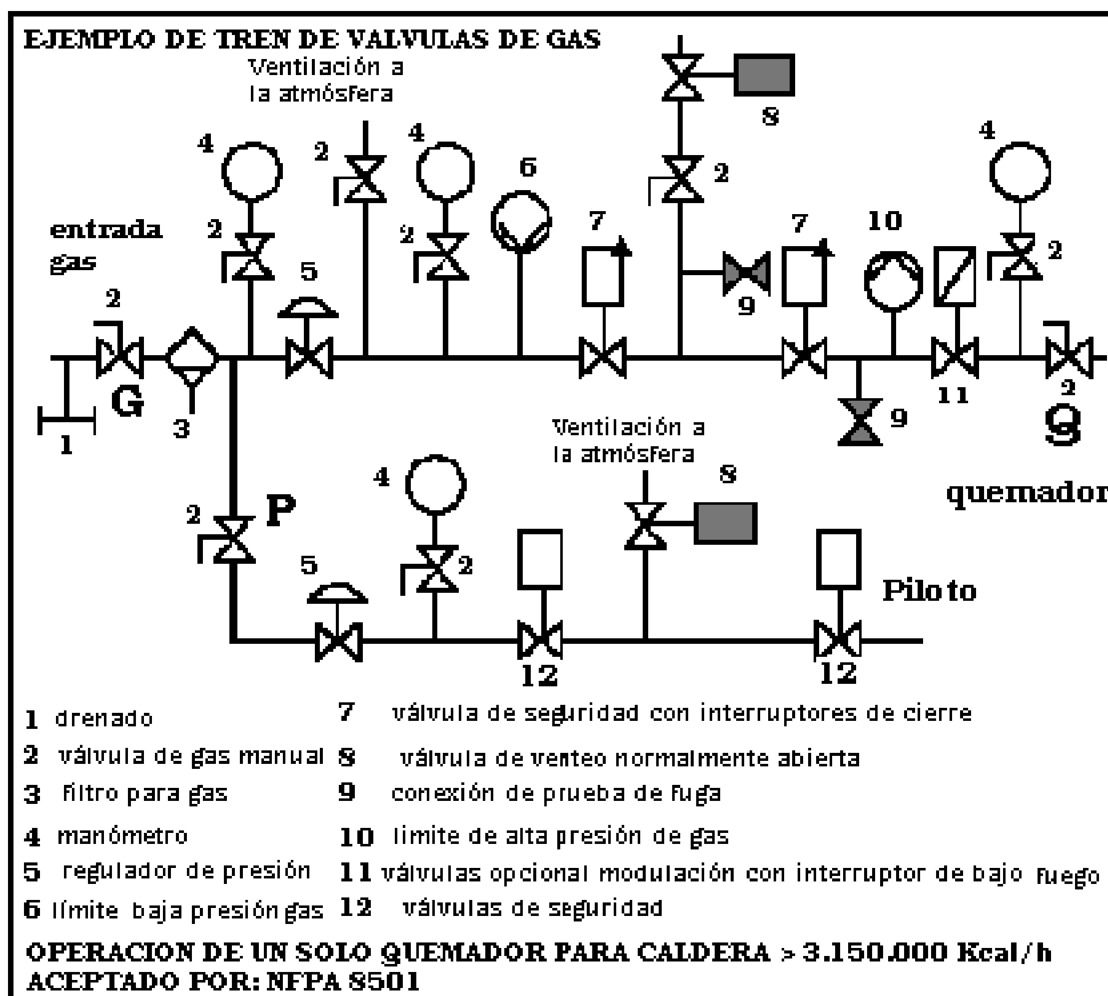
**Creo que es muy importante, que las calderas que han quemado F. Oíl o deban operar el mismo alternativamente con el gas natural, deban ser mantenidas limpias de depósitos de hollín o escorias** (inclusive, aconsejaría que después de "cepilladas" del hollín, antes de la conversión a gas, que las mismas sean totalmente "lavadas" con agua caliente levemente alcalinzada-soda-, ya que los restos de F. Oíl por lo general son ácidos y provocan corrosión en las condiciones que operan las calderas con gas: con la caldera fría hay condensaciones). **Hacer cada vez que se vuelva a quemar gas, después de un período de marcha con F.Oíl, un "gran" barrido** (con los tiros y el aire suministro bien abiertos) **de varios minutos para asegurarse que se quemen o vaporicen los restos de combustibles líquidos, o se "quemen" los focos en combustión "oculta", para luego pasar el quemador a la utilización de gas (revisando que las toberas de gas estén sin escorias o tapadas).**

**Se supone, que la "llama piloto" debe establecerse con seguridad**

(luego de un barrido de 4 veces o más, de todo el volumen de hogar y los tubos de la caldera, o un barrido de 90 segundos con el ventilador a no menos del 60% de su apertura total y que no hay una fuente de ignición antes de entrar la llama piloto, habilitada por la posición de "mínimo aire" para el arranque a los efectos de poder encender la llama principal sin que se "sople"), **durante de hasta 10 segundos aprox. la llama piloto podrá estar prendida y debe ser detectada por la fotocélula** (especial para gas, generalmente de rayos UV, que no deberá detectar la chispa eléctrica que se establecerá unos segundos antes, estas fotocélulas en algunos casos deberán ser "autochequeables", pudiendo haber más de un sistema de detección de llama en combinación, como por ejemplo una varilla de "ionización"), **asegurándose en este período que tenemos la "llama piloto" correctamente "prendida" o sea "estabilizada"** (de unos 5 segundos, ya con la "chispero" apagado)**, luego al abrir lentamente las válvulas de suministro de gas principal** (estas son de apertura lenta y cierre rápido)**, la válvula modulante de suministro de gas estará ya abierta menos de un 25% del total de la máxima combustión** (depende de la capacidad total)**, la llama principal tendrá entre 3 a 5 segundos para "prender" con el piloto de gas, de lo contrario** ( o sea que a partir de este período la llama piloto se debe apagar para asegurar que la fotocélula "vea" solamente la llama principal)**, de manera que si la fotocélula no ve la llama principal ya estabilizada y sola, debe inmediatamente cerrar las válvulas de gas de cierre seguro** en menos de 1 segundo las válvulas principales de cierre de seguridad del gas deben de cerrar, generalmente son dos válvulas, con una válvula en el "medio" que ventea automáticamente el gas entre las dos válvulas de cierre (en las calderas de cierto porte), o un sistema de prueba de pérdidas de las válvulas, de manera que sea imposible que se siga alimentando el gas al quemador por pérdida o falla de las válvulas de cierre, válvulas estas últimas especiales y que deben tener una señalización mecánica que indican la condición, de cerrada o abierta.

**Recordar que las válvulas que suministran el gas al quemador abren "despacio" y cierran "rápido"** (para evitar un suministro de gas en forma "abrupta" y el cierre "rápido" al detectarse una falla : falta de llama, falta de aire de combustión, etc.).

**Dado la peligrosidad de esta maniobra de pasar de F. Oíl a gas natural, es conveniente revisar que las toberas de suministro de gas están en condiciones** (destapadas, o si estuvieran protegidas mientras marchó con F. Oíl, chequeadas una por una, ya que basta que las más próximas a la "llama piloto" puedan estar tapadas y con ello dificultar el encendido inmediato de la llama principal).




**Es aconsejable hacer todo el chequeo del quemador (o lo que aconseje el fabricante de la caldera o quemador o la autoridad habilitadora):**

El siguiente es un ejemplo de procedimiento de prueba, no necesariamente el indicado para un quemador en especial, por lo que es aconsejable seguir las instrucciones del vendedor de la caldera o del quemador.

**1- primero sin suministrar el gas, cerrando la válvula de entrada de gas al tren de seguridad** (Nº2 de entrada **G**) , **el sistema debe detectar que no hay presión de gas y bloqueará por baja presión de gas. Luego abriendo dicha válvula y cerrando las otras válvulas manuales Nº2** (válvulas manuales de gas a la entrada del quemador **Q**, o sea la más próxima al quemador de la caldera y la **P** o sea la que suministra gas al piloto, indicadas **en el croquis anterior**), tanto de la "llama piloto", como de la llama principal, **esto permitirá simular que el quemador puede prender por que hay presión de gas, pero no prenderá por estar cerradas las entradas de gas** (Nº2, **Q** y **P**) **y nos permitirá verificar los tiempos y forma de "barrido de hogar" con aire, sin prender el quemador** (debiendo comprobar que hay 4 cambios de volumen de la cámara de combustión y de humos, o 90 segundos con el suministro de aire abierto no menos del 60%), **verificar que el quemador baja a la posición de "aire mínimo para el arranque", verificar que el chispero produzca la chispa con la suficiente potencia, observar luego del tiempo de establecer la "llama piloto" si la operación se cancela por "falta de llama". En este**

**período de prueba se pueden establecer dos pruebas más: desconectando el presóstato de aire** (el que habilita al sistema detectando la presión de aire de combustión), **el quemador se bloquea** (puede que el ventilador no se apague, pero se corta el ciclo o no comienza el barrido o se suspende el ciclo si se desconecta la conexión al ducto de aire, bloqueando el quemador, que deberá ser "repuesto" por el foguista) **y probar si hay bloqueo por presencia de llama** (en este caso sacar la fotocélula y exponerla a la luz antes que comience el encendido del "chispero"), **al "ver luz" la fotocélula se bloquea el quemador.**

**2-Probar nuevamente con solo la "llama piloto" habilitada** ( abriendo para ello la válvula Nº2 **P del piloto**) luego de recorrer todos los pasos anteriores, **ver que se establezca la "llama piloto" durante unos 10 segundos** (depende del quemador) **y que la "vea" la fotocélula, permitiendo que se abran las válvulas principales de seguridad de gas, las Nº7** (que funcionarán, pero las **tendremos inhabilitadas al cerrar la entrada de gas manual al quemador, la válvula Nº2 G** o sea que el gas no pasará al quemador). **Se deberá controlar que entre 3 y 5 segundos máximos se prenda la llama del piloto de gas** (tiempo en que se cruza el chispero para prender el piloto de gas) **si el piloto de gas no prende, el detector de llama "abortará" la operación y bloqueará el quemador. Si prende la llama piloto de gas, el programador dejará funcionar sola unos 5 segundos al piloto de gas, ya sin el chispero eléctrico, para observar la estabilización la llama piloto de gas** (ver que está prendida correctamente) **pero si se apaga la llama piloto en este tiempo de estabilización, al "perder" la "visión" la fotocélula "aborta" la operación por "falta de llama"** (se apagó la "llama piloto" y no hay llama principal, las válvulas de cierre rápido, Nº7, deben de cerrar en menos de 1 segundo, el quemador va a "bloqueo" y el foguista debe "reponer" el sistema)**.**

**3-Recién en este momento se habilitaría la válvula manual principal de gas al quemador** (Nº2 **G**)**, de manera que se complete totalmente la operación de encendido.**

**4-Una prueba adicional es cerrar con el quemador prendido la válvula manual Nº2 G y ver que el quemador se bloquee por falta de llama en menos de 4 segundos** (la suma de tiempos entre que el detector de llama nota la falta de llama, que debe ser de menos de 3 segundos y en la actualidad en menos de 1 segundo, y el cierre de las válvulas de seguridad que debe ser menos de 1 segundo)**.**

**PÓNGASE DE COSTADO EN TODAS LAS OPERACIONES, DE MANERA QUE SI HAY UNA EXPLOSIÓN DE HOGAR, QUE PUEDE "ARRANCAR" EL QUEMADOR O ABRIR (o "arrancar") LAS "TAPAS" DE LIMPIEZA DE LA CAJA DE HUMOS, PROVOCANDO DAÑOS POR EL IMPACTO A LAS PERSONAS Y A LOS MATERIALES**.

En este caso, evitar que estos elementos puedan impactar sobre las cañerías de gas, dado que esto provocaría un incendio de muy graves consecuencias, aunque se supone que hay una protección por exceso de caudal de gas o pérdida de presión, que deberá cortar el gas, pero en algunos casos tenemos una cantidad de gas en la cañería entre el tren de válvulas y las reguladoras de presión y bloqueo por alta y baja presión de la línea de suministro, que por lo general están alejadas, fuera de la sala de calderas como corresponde.

**Se debe de tratar que las válvulas de seguridad, regulación y control del gas** (correspondientes al quemador)**, estén los más próximo al quemador** (asegura que el quemador no tenga que esperar un tiempo de "barrido" del aire de la cañería, que retrasa el encendido y aumenta el riesgo de un mal encendido) **y protegidas de un "impacto" de explosión de hogar** (puestas lateralmente a la caldera y no de frente a la misma)**.**

**Resumen (hacer lo que diga el suministrador del quemador y/o caldera a gas): Revisar** (limpiar) **toberas de suministro de gas. Mantener la caldera libre de hollín y escorias de la operación con combustibles líquidos** (y con el propio gas natural)**. Al**

**pasarse a gas, hacer un prolongado "barrido" de los "restos de F. Oíl, efectuar las pruebas "paso a paso" de cada etapa del quemador** (y como esto no es "un seguro de vida", no exponerse en la zona crítica que pueda afectar una explosión de hogar)**.**

**Las maniobras con "apuro" son las más peligrosas, tómese su tiempo!!!!!**

## ADAPTACIONES DE CALDERAS PARA QUEMAR GAS NATURAL.

Uno de los problemas, al adaptar una caldera a gas natural, **es la temperatura del metal** (mandrilado y/o soldado) **de los tubos del primer pase de tubos a la placa en contacto con la cámara del hogar, que en general llamamos la "placa más caliente"** (sea una caldera de fondo seco, las más problemáticas o de fondo húmedo, una caja, o de fondo semi-húmedo, con "capilla" trasera de tubos). **El metal de la placa y la "punta de los tubos" fundamentalmente no deberían pasar de los 425ºC** (800ºF), **es decir que en el "tubo del hogar" en las caldera humo-tubulares, la llama debe "disipar" su calor de tal manera que llegue a una temperatura que no caliente el metal más allá de los 425ºC** (con calderas con incrustaciones, y las hay, esto puede ser un problema serio, ya que el metal no se refrigera correctamente), **de lo contrario que se corren riesgos de "quemar" el metal** (fisurar la "punta de los tubos", aflojar los mandrilados o fisurar los tubos y la placa). **Esto aún más se agrava si el trabajo del mandrilado y soldado de los tubos a la placa están "mal hechos", es decir, que parte metálicas que se proyectan hacia los gases** (el largo de los tubos fuera de la placa es mayor a la permitida, en general no debe pasar de 3 mm. si son mandrilados y soldados, pero si solo son mandrilados conviene que sean "pestañados", o sea "recalcada" la punta del tubo con una terminación "redondeada", trabajo que se hacía a mano o con un martillo neumático con una punta con la forma de la terminación de la "pestaña") **o tienen una mala "terminación de acabado"** (filos o fisuras o "gorrones" de soldadura).

Es evidente que la temperatura de los gases, al final de hogar, ya han entregado buena parte del calor. En la **calderas de combustibles líquidos** (como el F. Oíl), dado la alta "luminosidad" de la llama y lo corta de la misma, se transfiere por lo general en el entorno del **40%** del calor, **pero con gas natural, una llama más difusa, poco luminosa, se transfiere menos calor** (en el entorno del **30%**).

**Esto significa que las calderas al quemar gas natural, para la misma "potencia" de producción de vapor, tendrán un valor en la temperatura de chimenea, una poco mayor de cuando queman un combustible líquido como el F. Oíl** (para el misma "carga" y **exceso de aire** o sea la misma relación aire/combustible).

Por supuesto que **el hogar deberá tener una dimensión adecuada, en diámetro y en el largo**, así como la conexión del tubo del hogar al primer pase tubos (caja, capilla, fondo seco), **para un máximo de poder de combustión.**

**Hay una "norma" inglesa**, que establece una "formula" de cálculo teórico, para fijar una temperatura aproximada de los gases a la entrada de los tubos del primer pase de tubos (salida del hogar y la cámara o caja de humos trasera entre el hogar y primer paso de tubos), esta fórmula de cálculo responde a la **potencia de combustión máxima dividida la superficie del hogar más la del fondo correspondiente** (húmedo, con capilla o nada como el el "fondo seco"), **a esta relación se le eleva a una potencia fracción que se le multiplica por un factor, si la temperatura de los gases dá mayor de 800ºC, se aconseja medir la temperatura del metal de los tubos y la placa trasera** (que no pase de 425ºC, si es mayor se deben poner protecciones cerámicas o bajar la combustión máxima), **si el valor es mayor a 1.200 ºC, se debe bajar la potencia máxima de combustión por debajo de 1.200ºC** (la norma inglesa es la **BS 2790**).

**En una palabra, cuando la caldera pase a quemar gas natural, el máximo de combustión debe ser monitoreado para no pasar el metal por encima de los 425ºC en esa zona** (las calderas mandriladas y soldadas, pueden llevarse a una temperatura de gases de unos 1200ºC, pero las calderas solo mandriladas son más sensibles, por lo que dicha temperatura debería ser menor o hay que poner una protección de cerámica en cada tubo).

**Una forma de controlar esta máxima combustión es "monitorear" que la temperatura de chimenea** (con la caldera limpia de hollín e incrustaciones) **tenga un valor de la temperatura de chimenea a la suministrada por el fabricante en el diseño** (ya que la temperatura del metal de la placa-tubo, no es fácil de medir).

**De lo contrario habrá que poner protecciones de cerámicas** (canutos o boquillas) **que protegerán a esta zona tan sensible del exceso de la temperatura.**

Este efecto, costó muchos "dolores de cabeza", en los países que fueron reconvirtiendo sus calderas de combustibles sólidos y líquidos (ya que muchas calderas "aflojaban" el mandrilado o fisuraban la placa "más caliente"), **al pasar a la quema del gas natural** que apareció en el mercado después que estas calderas fueran diseñadas para los combustible clásicos (las nuevas calderas, ya serán diseñadas especialmente para gas y combustibles líquidos de respaldo).

**Un aumento de la temperatura en chimenea puede decir varias cosas:**

**1-Un exceso de combustión, hay mucho riesgo** (se corre peligro con los mandrilados).

**2-Caldera sucia de hollín, hay riesgo para este problema** (y pérdida de dinero por falta eficiencia) **pero puede haber riesgos en otros, como la posibilidad de aumentar el riesgo de una explosión de hogar. Aunque parezca extraño, si la caldera funciona con falta de aire o mala mezcla del gas y el aire en estas condiciones o llama muy fría, el gas natural puede llegar a producir hollín que aisla la caldera de la misma forma que el hollín que producen los combustibles líquidos** (es más aislante que el hollín de los combustibles líquidos por la baja densidad del hollín, un polvo casi "negro humo")**, aunque en la chimenea no veremos "humo"** (**los humos por lo general no son hollín, sino "pequeñas gotitas", como "neblina" de elementos orgánicos,** que se manifiestan en los combustibles líquidos y algunos sólidos, en el gas natural u otros gases puede aparecer como un "humo de hollín", que se ve más como una "sombra" al trasluz)**, salvo que los gases expulsados serán algo más opacos al "trasluz"**.

**El riesgo puede ser, una contra-explosión, dado que los gases están ricos de "gases no quemados" que se suman a una posible "mezcla" con el polvo de hollín** (un hollín sumamente liviano, como un "negro de humo", pero aglomerado en forma orgánica), **y esta mezcla puede entran en ignición en un punto cualquiera de la caldera** (inclusive en las cajas de humo o chimenea, por efecto de una chispa o foco de combustión en el propio "hollín" que se activa con el "barrido" de la puesta en marcha).



HOLLIN PROVOCADO POR GAS NATURAL

**3-Caldera incrustada, hay riesgo** (peligro de quemar el metal por falta de enfriamiento).

**4-Un exceso de aire muy elevado, hay riesgo de exceso de temperatura en los mandrilados** ( y pérdida de dinero, calentamos aire que no necesitamos).

**5-En algunos casos, corrimiento de la combustión** (una falta de aire debería bajar la temperatura en algunos casos, pero en otros puede que sea la causa del corrimiento de la llama hacía la parte "trasera" del tubo de hogar, o una mala mezcla aire/combustible, corriendo las temperaturas a un valor más alto en la zona de la placa, a la entrada del primer pase de tubos).




**En resumen:** El comportamiento deberá ser observado permanentemente, como cualquier otro combustible, **pero hay una tendencia pensar que una vez que se quema gas natural, no hay que limpiar más la caldera de hollín u observar la llama** (ya que no hay humos observables o colores de llama notorios)**, porque con gas "no pasa nada". Esto no es así, con gas natural debemos estar muy atentos, justamente por esa falta de "señales" de que las cosas andan mal. Basta que la presión del gas sufra un cambio, o que cualquier elemento del quemador sufra una alteración** (como el ensuciamiento de la "turbina" del ventilador, que debe ser limpiada para que no pierda rendimiento, u otras, como el ensuciamiento de los controles del aire o sea las "persianas" o "silenciadores" sucios, etc.), **pueden provocar una falta de aire, que se permitirá la formación de "hollín"** (un ensuciamiento de las superficies de transferencias que se notará en **un aumento de la temperatura de chimenea o en el mayor consumo del gas**, pero no formará humos, salvo un oscurecimiento en los gases de chimenea si llega

a expulsar dicho "hollín"). **La llama cambiará de aspecto, quedando más visible** (oscura de color más rojizo).

**La presión de suministro del gas natural deberá ser lo más estable posible, de lo contrario, corremos el riesgo de que la relación aire/combustible cambie continuamente al cambiar la presión** (siendo hasta probable que falte aire al aumentar la presión de gas y el quemador tienda a cerrar la modulación para la misma potencia, lo que provoca un cierre de ambas válvulas, la de gas y la de aire, pero como entra la misma cantidad de gas por haber más presión, entrará menos aire, lo cual hará que la combustión entre en una zona de falta de aire: formación de CO, gases no quemados e inclusive hollín).

En una palabra: no debemos bajar la "guardia" cuando quemamos cualquier combustible, pero especialmente en gases, que no son muy demostrativos de sus alteraciones de combustión (llama poco visibles, prácticamente sin formación de humos, etc.), esto también ocurre con los combustibles celulósicos (leña, cáscaras, etc.).

## QUEMA DE LA CASCARA DE ARROZ

La cascara de arroz, sin otros usos prácticos de valor (en este país) es un combustible con un poder calorífico bastante bueno (**con 10% humedad b.h. el P.C.S. 3.100 Kcal/Kg y P.C.I. 2.800 Kcal/Kg**). El problema mayor es que en su constitución, al quemar, tiene una gran cantidad de cenizas (**principalmente sílice, más del 20%**). La sílice más común que vemos a diario es la arena. Esta sílice, al quemar a las altas temperaturas en la que se quema la cáscara, forma pequeñas cascarillas semi-fundidas, de aspectos blanquecina vidrioso, muy volátil y **abrasivo**. Esta sílice es especialmente abrasiva con la corriente de gases en el interior de la caldera, provocando **corrosión por erosión**, en las zonas de cambio de frente, ayudada cuando las condiciones químicas de la combustión no son adecuadas y además con la presencia de un pequeña cantidad de **azufre en la cáscara que provoca una corrosión del tipo ácida-abrasiva.**

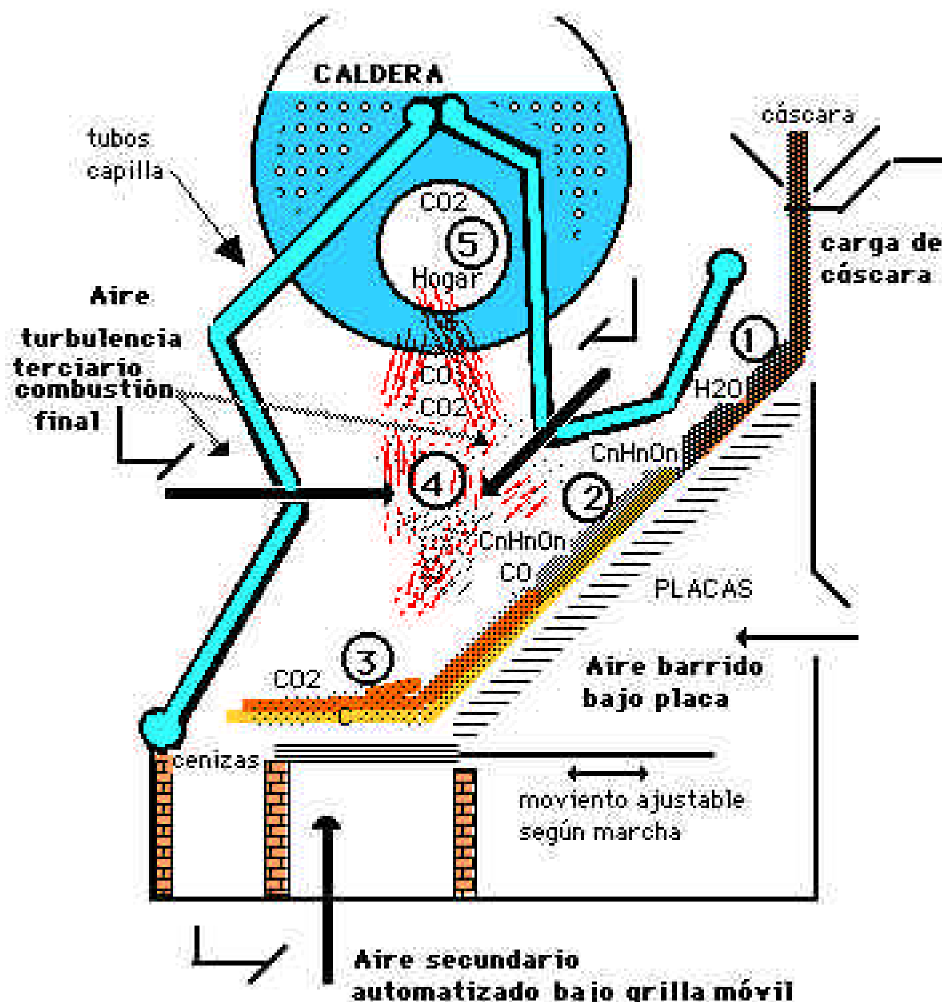
La **humedad** con que se maneja la cáscara de arroz para quemar es baja, aproximadamente **en el entorno del 10%**, esta baja humedad es la que hace que su poder calorífico sea casi igual a la leña con un 25% H.b.h. (cuyo contenido de humedad es difícil que baje del 20% H.b.h.).

El **contenido de carbono** está en el entorno del **40%** , su contenido de **hidrógeno** es bajo, **menos del 5%** .

Como hemos visto, con su poder calorífico, compite perfectamente con la leña, pero su problema es la combustión: gran cantidad cenizas, es volátil la cáscara y la ceniza (un problema de abrasión y contaminación atmosférica), pero **además se debe lograr la combustión completa, tanto que por lo gases de chimenea no vaya gases sin quemar, ni quede en la ceniza una cantidad de carbono calcinado** (una ceniza de aspecto negro, en vez de una ceniza blanquecina).

**Su combustión se ha encarado de varias formas : en lechos** ( caso Uruguay) **, en cámaras de alta temperatura** (tipo ciclones o cámaras torsionales, U.S.A., Brasil, etc.). En Uruguay , la firma TURBOFLOW URUGUAY S.A., a construido calderas del tipo de lechos de combustión desde hace más de 20 años (calderas de 6 a 10 tn/h, del tipo humo-tubular con capillas).

**Veamos en forma esquemática un lecho:**




**Este hogar para quemar cáscara de arroz,** está formado por una cámara de combustión con la parte superior y parte de los costados con tubos con aletas (soldadas a los tubos) y estas entre sí, sellando mecánicamente el escape de gases o entrada de aire. Estos tubos son alimentados en su parte inferior con el agua de caldera por medio de colectores, teniendo en la parte superior, un colector (o dos) para la salida del agua que circula y el vapor que se pueda formar (teniendo este colector a su vez tubos hervidores o de desahogo de vapor en la parte superior). En la parte superior, se comunica con el tubo del hogar (corrugado), en donde se termina la combustión en el interior de la caldera humo-tubular. La pared frontal y parte de la pared posterior de su estructura interna en material refractario (ladrillo). En parte de un costado se encuentra la entrada de carga de la cáscara (un cargador rotativo o de empuje variable), a una parrilla inclinada formada por "placas" de fundición, y en la parte inferior la parrilla está formada por piezas móviles de fundición (que hacen

avanzar el lecho de cáscara, en forma de movimientos regulados, en esa parte casi cenizas). Al final de la parrilla, hay una "canaleta" en donde la ceniza irá cayendo al avanzar el lecho. Veamos como funciona.

La cáscara es alimentada en forma continua ( **Nº1,** de acuerdo a necesidad de mantener un "manto"), hay una primera etapa de secado de la humedad de la cáscara con el calor del hogar y luego, más sobre el hogar (**Nº2**) y forzado por una corriente de aire que empuja el calor sobre el lecho, esto produce el desprendimiento de gases orgánicos de la descomposición por el calor (la alta temperatura del hogar y una corriente de aire de baja velocidad, que entra por debajo del lecho, ya que el hogar está en depresión, hace el barrido, empujan estos gases), estos gases entran en combustión (**Nº4**) con los aires sobrantes y el terciario. El "manto" baja, en la medida que la combustión del "manto" casi destilado continua (hay una zona final en que queda solo carbono y la ceniza **Nº3**), y luego de la combustión del carbono (provocada por el aire secundario) quedarán solamente las cenizas, siendo esta parte baja del lecho la que está sometida a un movimiento mecánico que hace avanzar el lecho, volcando las cenizas a un canal de extracción.

**Veamos un triángulo de OSTWALD para cáscara de arroz.**

**En este triángulo de OSTWALD de CASCARA DE ARROZ,** vemos que el máximo **CO % es de 32%** , **cuando en los combustibles líquidos y gas natural es menor**, esto se debe la presencia del oxígeno en el propio combustible, la cáscara de arroz, que **se da como que ya ha reaccionado con el hidrógeno**, por lo que queda de combustible, es

prácticamente carbono (**C**), que si trazáramos su triángulo de OSTWALD, daría un poco más del **34% como CO%** (monóxido de carbono con carbono puro).

El **control de combustión, se debe hacer con instrumentos** (midiendo el CO2% u O2% y el CO%, que este último debe ser prácticamente 0%, aunque es difícil de obtener este valor si se pretende trabajar con un exceso de aire bajo, siendo normal este exceso de aire entre el 35% y el 50%, de lo contrario aparecen gases sin quemar, cuyo efecto es muy corrosivo, especialmente por la combinación de la abrasión de la ceniza y el azufre de por sí corrosivo, con otros gases sin quemar del tipo ácido (piroleñosos). Como un control práctico, se debe de tratar que la llama visible no pase del tercio del hogar, de manera de asegurarnos la combustión total.

**Los gases de chimenea deben ser sometidos a un tratamiento de eliminación de las cenizas arrastradas** (de lo contrario se contamina la zona con una sílice volátil).

Un problema considerable, es la eliminación de la ceniza (casi en un 90% sílice), se utiliza en algunos hornos de fundición, quedando otros usos todavía no aplicables en Uruguay.

**La cáscara de arroz es un combustible que no debería ser desperdiciado**, pero, lamentablemente se quema a "cielo abierto" y no se aprovecha su valor energético, solamente un par de plantas de **arroz parboiled** lo usan. Algunos hornos de portland las utilizaron, agregando con ello un calor adicional (y la ceniza que hasta cierto límite puede utilizarse integrado al portland).

## QUEMA DE CHIPS Y DESECHOS FORESTALES;

La quema de chips y desechos forestales ha tomado en estos dos últimos años un incremento para ser utilizados en calderas para la generación de energía eléctrica (sea para venta directa a UTE, o para uso en las propias plantas en co-generación: generación de electricidad y vapor de proceso).

Hace muchos años que se viene utilizando chips y cáscaras en calderas de quema directa, ahora se está en una etapa de utilización de gasógenos (cosa que todavía no se ha resuelto adecuadamente en el Uruguay, estamoa hablando del 2009-10), ya que los gasógenos tienen grillas planas y son a contra-corriente (el chips entra por arriba, saliendo los gases también por la parte superior y el aire primario entra por debajo en donde está la grilla plana y supuestamente debe caer la ceniza, combinando en algunos casos la quema de "aserrín" insuflado en las propias cámaras torsionales (que van adosadas a los gasógenos para la combustión secundaria).

La quema directa, se asemeja en algo al sistema de cáscara de arroz que hemos mostrado en páginas anteriores, siendo algo diferente las parrillas que son de "carros móviles" en toda la sección de grillas (grillas móviles en toda las sección de la combustión).

La metodología que más resultado a dado en el mundo es el uso de la combustión en "suspensión" (una grilla plana en que entra aire caliente a alta velocidad y mantiene en suspensión a las partículas de combustible en su proceso de combustión), son equipos caros que en Uruguay todavía no han sido implementados.

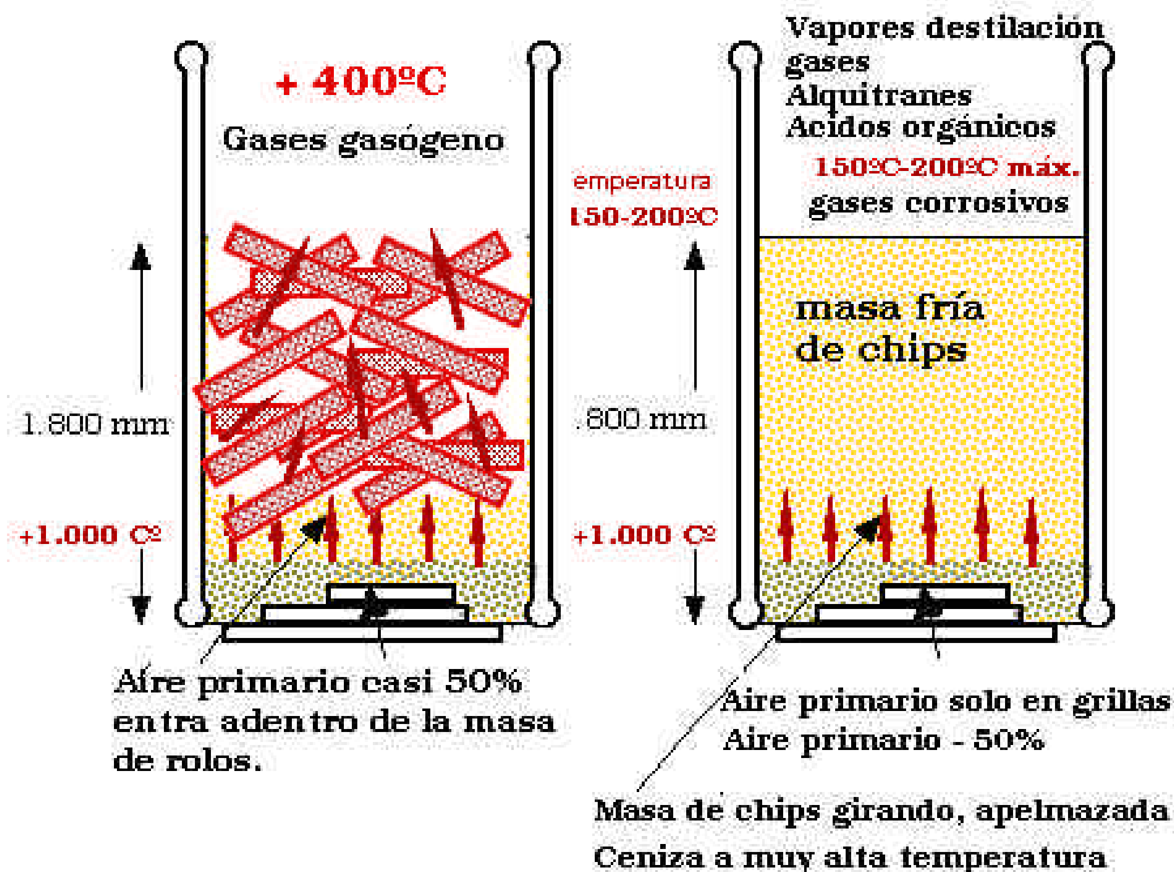
Veamos un poco el problema de los gasógenos con grilla plana, cuando funcionan con chips y desperdicios de aserraderos, quemando en la grilla:

Un gasógeno de "leña" a rolos cortos, cuando gasifica la temperatura de los gases generados van entre unos 450º y hasta unos 700ºC aprox., esto provoca un "craqueo" de los alquitranes, lo que evita que se formen alquitranes que generan problemas de ensuciamiento y combustión en el sistema (trancando válvulas de gases, formando depósitos que tapan ducto entre gasógenos y cámaras torsionales, etc.). Pero cuando se trata de quemar chips y desechos de aserradero, la combustión tiende a "ahogarse" dentro del gasógeno, provocando la destilación de la madera (o desechos de biomasa), esto queda

muy evidente por la baja temperatura que salen los gases del gasógenos, que por lo general difícilmente suban por encima de los 200ºC. Estos gases "sucios" de alquitrán, están compuestos de muchos elementos destilados, algunos de muy fácil combustión, pero de riesgo de explosión (gases orgánicos de distinta composición), que al estar frío y con alquitranes, si bien son difíciles de quemar en frío, pueden entrar fácilmente en explosión por su alta velocidad de llama (metano, alcoholes, piroleñosos, etc.).

Cuando se queman rolos cortos, si bien el procedimiento de operación es el mismo, los troncos al caer no "ahogan" la combustión, al entrar aire primario que se va calentando entre los rolos, y como llega a una temperatura por encima de los 450ºC, se logra que el alquitrán y otros se "craqueen" y formen otros compuestos más manejables para su control de combustión. Las calderas con gasógenos que queman rolos casi no precisan utilizar quemadores a combustibles líquidos como "pilotos" para mantener la llama del gas, mientras que cuando se quema chips y desperdicios de aserradero es impensable funcionar en el arranque sin un buen quemador en potencia para prender y sostener la llama del gas fría del chips destilado, hasta que se caliente bien la cámara torsional de combustión.

Creemos que esta dificultad es "salvable", introduciendo aire primario en el seno de la masa de chips, de manera de producir mayor combustión y con ello elevar la temperatura en la "masa" de chips y con el ello provocar un "craqueo" de las moléculas orgánicas en gases de gasógenos y disminuyendo la presencia de alquitranes y otros moléculas pesadas.




Para no tener que parar el gasógeno cuando el "cuello" de unión entre el gasógeno y

la cámara torsional se "tapa" (por la aglomeración de alquitrán y materias sólidas, como carbones de chips a medio quemar, etc.), se baja la altura del chips (perdiendo capacidad de combustión de generación de gases) para elevar la temperatura a valores que puedan quemar dichos depósitos. En lo personal creo que esto es un problema si la temperatura rebasa los 750ºC, ya que significa que el gasógeno esta vaporizando (aumenta su transferencia ya que quedan expuestas sus superficies de intercambio a un mayor área y a una mayor temperatura, y esta alta vaporización puede provocar que la dificultad de desalojo del vapor hacia la caldera haga disminuir la capacidad de enfriamiento del agua que entra al gasógeno, ya que esta depende para su circulación de un valor muy pequeño de diferencia de alturas para el efecto "sifón", y como 1 litro (dm3) de agua produce varios litros (dm3) de vapor , la expulsión o desalojo del vapor con ese aumento de volumen impide que el gasógeno trabaja inundado de agua (la parte superior trabajaría inundada de vapor que absorbe poco calor de enfriamiento de los tubos de la cabeza del gasógeno, lo que provocaría una corrosión del lado fuego por alta temperatura, fuera de los problemas de dilatación y contracción de la temperaturas tan dispares que puede llegar a tener el metal.

Veamos unos tubos de la "cabeza" de un gasógeno que por la exposición en el tiempo a esos gases tan calientes y además con la probabilidad de ataque por ácidos piroleñosos, la presencia de CO (monóxido de carbono) a alta temperatura ataca al metal.




La formación de piedras sobre la parrilla, efecto de la alta temperatura de la combustión localizada en forma horizontal sobre la parrilla no solo provoca la destilación de la leña con la formación de alquitranes y gases corrosivos y de alto riesgo de explosión, sino que se forman "piedras de cenizas" de la ceniza que funde a a relativamente baja temperatura (algo que mejora esta situación es el uso de óxido de magnesio que eleva la temperatura de fusión de las cenizas, una solución relativamente económica es el uso de Dolomita (molida en polvo), cuya composición es aprox. un 30% de carbonato de magnesio y un 70% de carbonato de calcio, ambos con la alta temperatura se descomponen es sus

respectivos óxidos, y elevan como dijimos la temperatura de fusión de las cenizas. Estas piedras si se forman, llega un momento que obliga a parar el gasógeno y quitarlas, de lo contrario el gasógeno deja de operar correctamente (se tranca la grilla giratorio, se tapan las entradas de aire, se pierde capacidad de materia combustible). Tampoco conviene trabajar la grilla desprovista de una capa de ceniza, de lo contrario quedaría expuesta a las altas temperaturas por el "efecto fragua" que produce el aire al entrar al alta velocidad e impactar sobre el material en combustión, elevando el metal a muy altas temperaturas lo que provoca su corrosión rapidamente.





Platos giratorios en la parte baja del gasógeno para la extracción de ceniza y la entrada de aire primario.

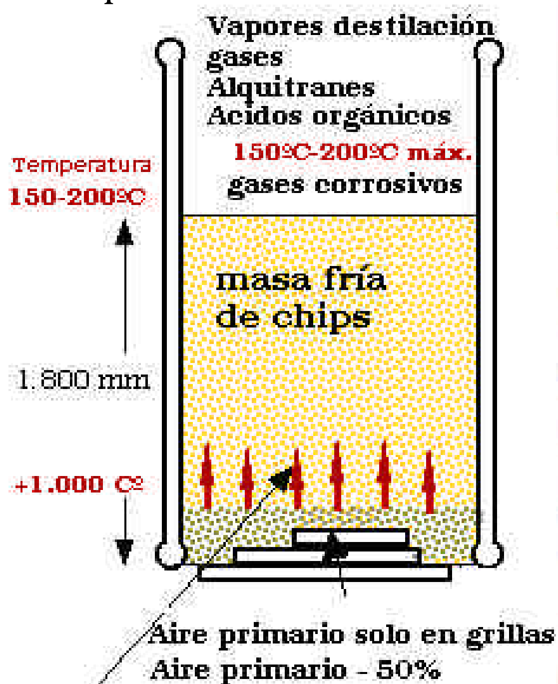


Chips "apelmazado" por la compactación del chips debido a la mala combustión lograda por el exceso de aire localizado en forma de "canales", que elevan la temperatura localmente fundiendo la ceniza y dejando otras secciones sin aire, que no entra en combustión y se "apelmaza".

La masa de chips tiende girar sobre los platos giratorios que forman la grilla sostén del chips, esto es uno de los factores que permite el "apelmazamiento" de los chips (por la falta de movilidad entre chips y la presencia de alquitranes), las entradas de aire entre platos tiende a taparse y el aire primario casi queda relegado al que entra por los laterales del plato mayor contra el gasógeno.

Quizás esto se puede resolver disponiendo elementos de retención de

acero refractario en forma de retener a la masa de chips que está girando y que estos elementos de retención tengan un ángulo que tienda a "aflojar" el chips, en la realidad no se ha hecho hasta ahora nada que salve esta situación, salvo de la bajar al mínimo la carga de chips, esto mejora la temperatura de los gases formados (llegando casi a los 400ºC), pero complica el manejo de los gasógenos por el poco combustible residual en combustión, lo que obliga a una atenta maniobra para mantener el nivel de chips.




Masa de chips girando, apelmazada
Ceniza a muy alta temperatura



Piedras formadas por cenizas, debido al "efecto fragua" que produce el aire.

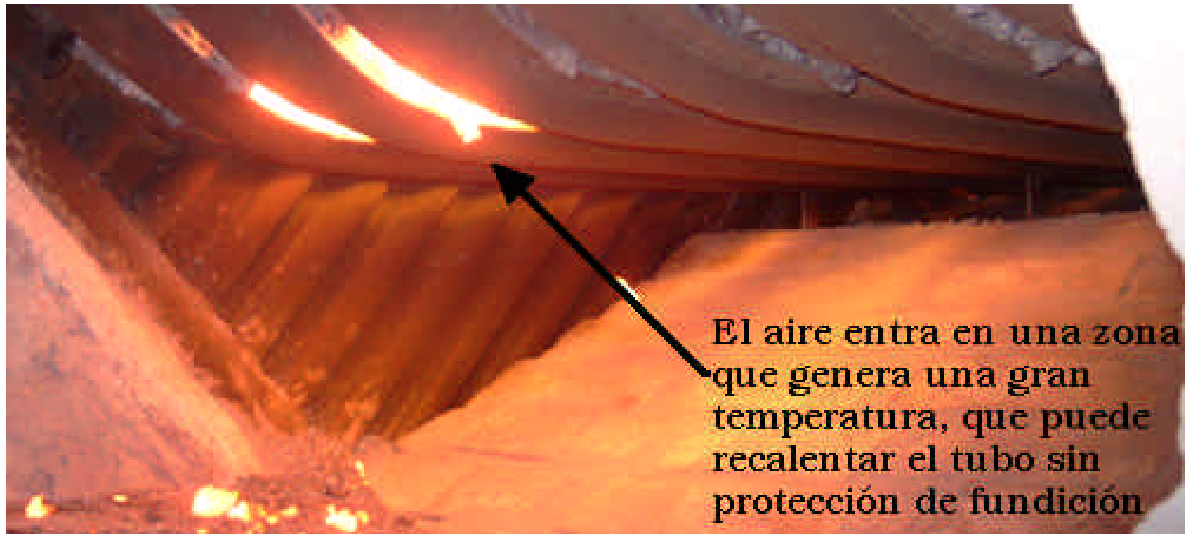
La formación de alquitrán no es solo un problema de su combustión completa en la cámara torsional (especialmente si está fría o si la biomasa tiene mucha humedad), lo que provoca una mala combustión secundaria que repercute en el ensuciamiento prematuro de las superficies de intercambio de la caldera, sino que se provocan corrosiones en las zonas calientes y frías.

Pero el otro problema del alquitrán es el "atascamiento" de las válvulas de guillotinas para la aislación de los gasógenos con la cámara torsional, guillotinas que deben responder rapidamente frente a un problema de falla de llama secundaria, aunque esto se ha mejorado poniendo pistones hidráulicos de gran potencia y además la inyección de vapor en las zonas más problemáticas.

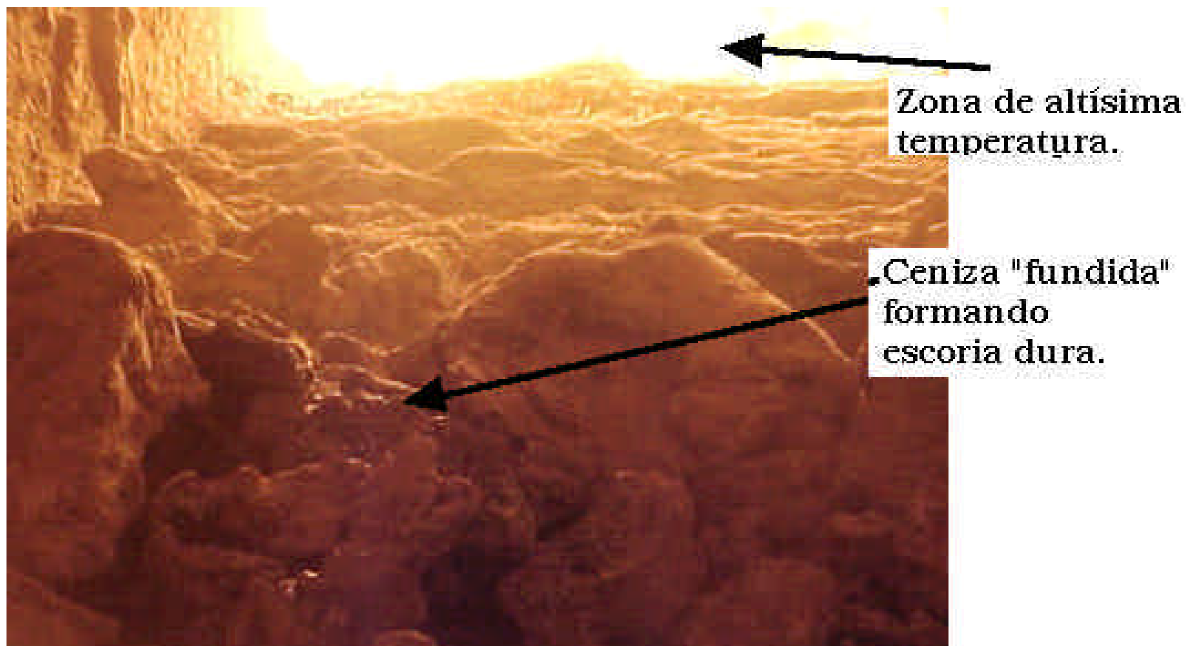
**Alquitrán de madera formado por la baja temperatura de los gases a la salida del gasógeno.**
**Se comporta como un destilador de madera.**



**La formación de "piedras de ceniza" no es exclusiva de los gasógenos, también en la quema directa puede ocurrir cuando se provoca el "efecto fragua" por diseño pobre de la grilla** (como ser grillas formadas solo por los tubos) . Hay que pensar que las grillas (parrillas) no son solo para sostener a los rolos en combustión, sino para hacer una correcta distribución del aire en contacto con la leña en combustión (y que no se produzcan zonas de que el aire no entra distribuido y zonas donde el aire entra puntualmente provocando el "efecto fragua", es decir una llama de altísima temperatura como si sfuera un fragua. Veamos una foto.

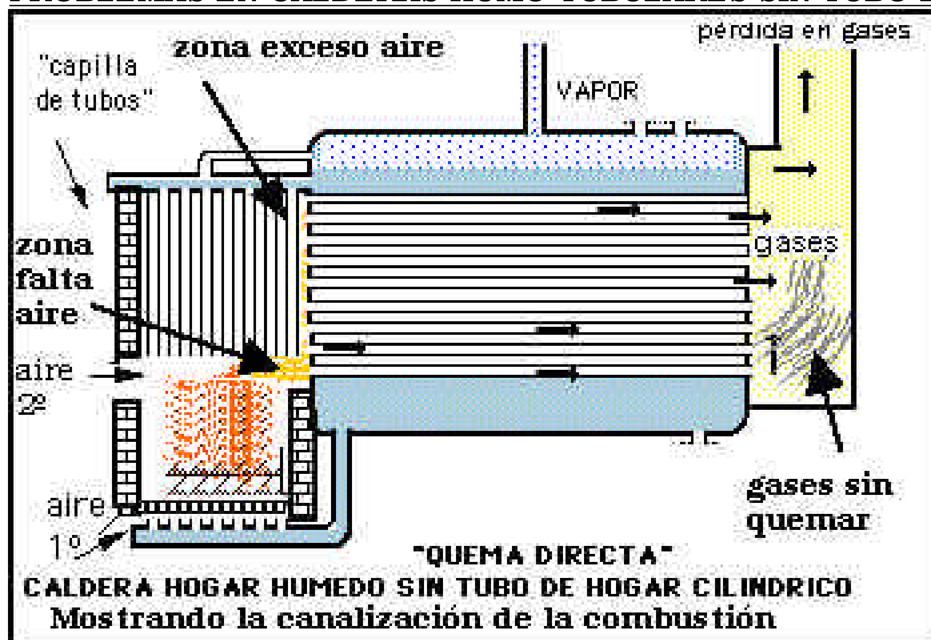



Las piedras formadas en la quema directa no solo derivan del "efecto fragua", sino que también puede pasar si se utliza un combustible con muy baja humedad (pellets con una humedad de menos del 10%). Veamos esto:

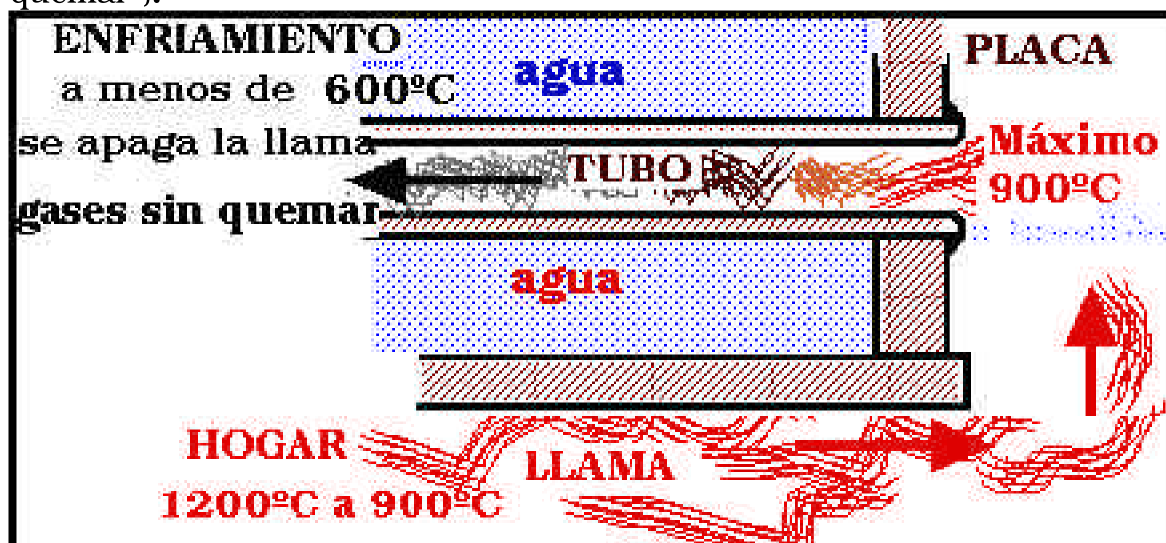



**El gran problema de quemar "pellets" tan secos en una parrilla no adecuada puede a llevar a la destrucción de las grillas móviles, ya que la piedra que se forma tiene la dureza de una "lava"** (piedra fundida)**, lo que tranca los movimientos de las mismas. Incluso puede haber volátiles de "lava fundida" que se deposite en los tubos de la caldera al ser arrastrados por los gases y condensarlos sobre las superficies relativamente frías de los tubos.**

**PROBLEMAS EN CALDERAS HUMO-TUBULARES SIN TUBO DE HOGAR**



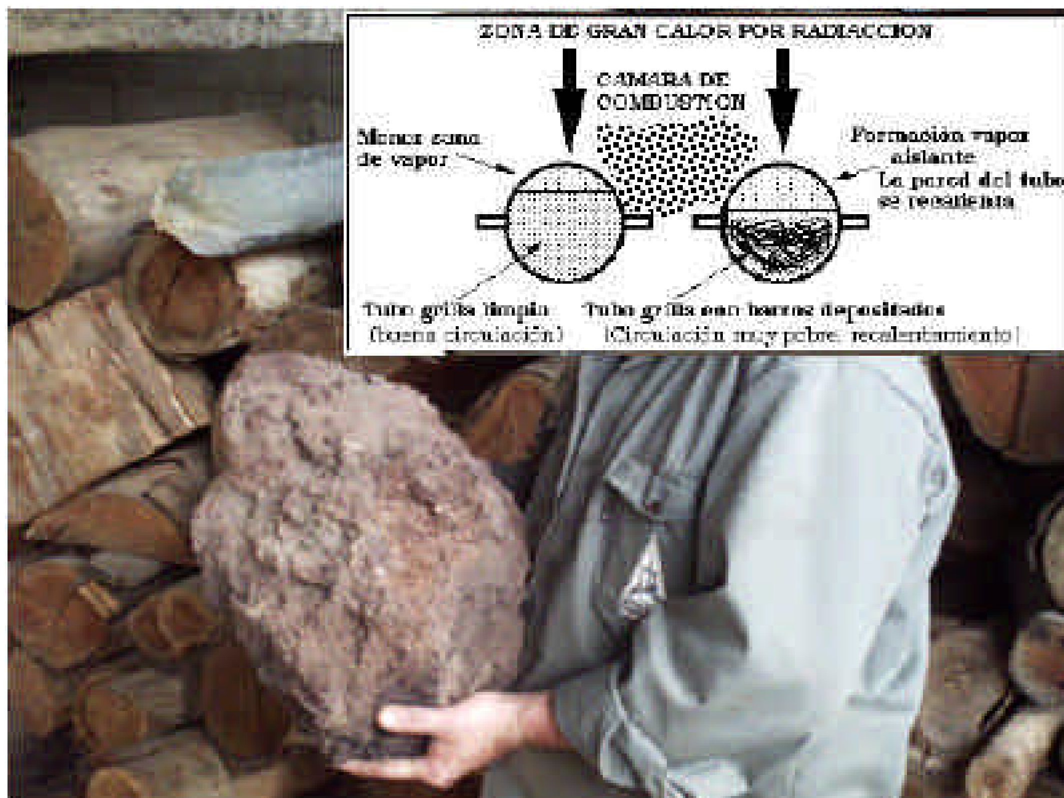

**Otro problema de la "quema directa" es cuando la caldera está diseñada sin tubo de hogar** (tubo de hogar de combustión)**, ya que si no se produce la combustión total antes de entrar los gases resultados de la combustión en los tubos, estas llamas incompletas se apagan al entrar en los tubos y ensucian rapidamente los tubos** (produciendo un "canuto" de cenizas que estrangula el pasaje de gases, lo que hace que el problema de mala combustión aumenta y el proceso de ensuciamiento aumenta, lo cual hace que se pierda mucha energía como "gases sin quemar")**.**






**Hay una "creencia" que las grillas de fundición que van sobre los tubos de refrigeración de la parrilla de las capillas de quema directa son para "sostener los troncos" (rolos) y esto no es realmente así, la grillas de fundición tienen tal conformación y distribución, que su función primordial es distribuir los "aires primarios" o "bajo grilla" de manera que el aire sea correctamente distribuido entre la biomasa en combustión. Cuando se pretende sustituir estas "grillas de fundición" por el simple soporte que pueden ofrecer los tubos a una cierta distancia entre ellos, el pasaje del aire se hará "desparejo", en algunas zonas se tapa el pasaje por la forma de los tubos que se asemejan a un "embudo" que atrapa la ceniza y no deja pasar el aire, mientras que en otros lugares el aire entra en exceso provocando un "efecto fragua"** (exceso de aire que provoca una gran temperatura y con ello forma "piedras de cenizas").

**Veamos una "piedra de ceniza"** formada por la caldera anterior que no tiene grilla distribuidora del aire primario, solo tiene tubos de soporte para la combustión formada por tubos que circula el agua de caldera, pero que permite que el "efecto fragua" se establezca facilmente al producirse el tapado de parte de la zona entre tubos por la forma cónica que se forma entre dos tubos**, mientras que en otras zonas se mantiene "perforado" el manto de combustión por el aire primario que impacta como una fragua** (produciendo una gran temperatura que funde la ceniza, como muestra la foto siguiente)**.**




**La parrilla se "tapa" a los pocos días y se forman importantes aglomeraciones de cenizas por la alta temperatura desarrollada en la zona de perforación de la parrilla tapada. Hay riesgos de recalentamiento de tubos.**

**La formación de "piedra de ceniza" no es exclusiva a la quema de biomasa muy seca, también puede ocurrir según sea la procedencia de de dicha biomasa** (por ejemplo: los montes de eucaliptos y pinos próximos al mar, tienen mucho contenido de sales y arena, arena que viene pegada a las cáscaras, especialmente en los pinos). **Pero también pueden ser el origen de la biomasa, como ocurre con la leña de los montes naturales** (madera dura, muy añosa, cuya contenido de sales es muy alto), **aunque la quema de leña de montes naturales está expresamente prohibida para conservar los montes naturales, deja de ser aconsejable utilizarlos en una caldera, ya que la piedra que se forma tiene la dureza de un vidrio** (una lava muy dura), **no se puede romper con una barreta, hay que parar la caldera y limpiar las grillas a golpe de marrón, cosa que no es aconsejable.**

## PROBLEMAS DE DISEÑO Y ADAPTACIÓN DE CALDERAS A LEÑA

**El diseño y la adaptación de las calderas a leña requiere mucha experiencia de manejo de las calderas a leña.**

**Si bien en general se piensa que los problemas de las calderas a leña son solo un tema de combustión, esto no es así, porque en general las calderas de leña (o biomasa) requieren cámaras de combustión adosadas a calderas nuevas o existentes, tanto en la quema directa como en los gasógenos.**

**El error más común, es el desconocimiento del comportamiento de la circulación interna de las aguas, cuya función no es solo suministrar el agua para producir el vapor, sino la de enfriar las superficies de transferencias.**

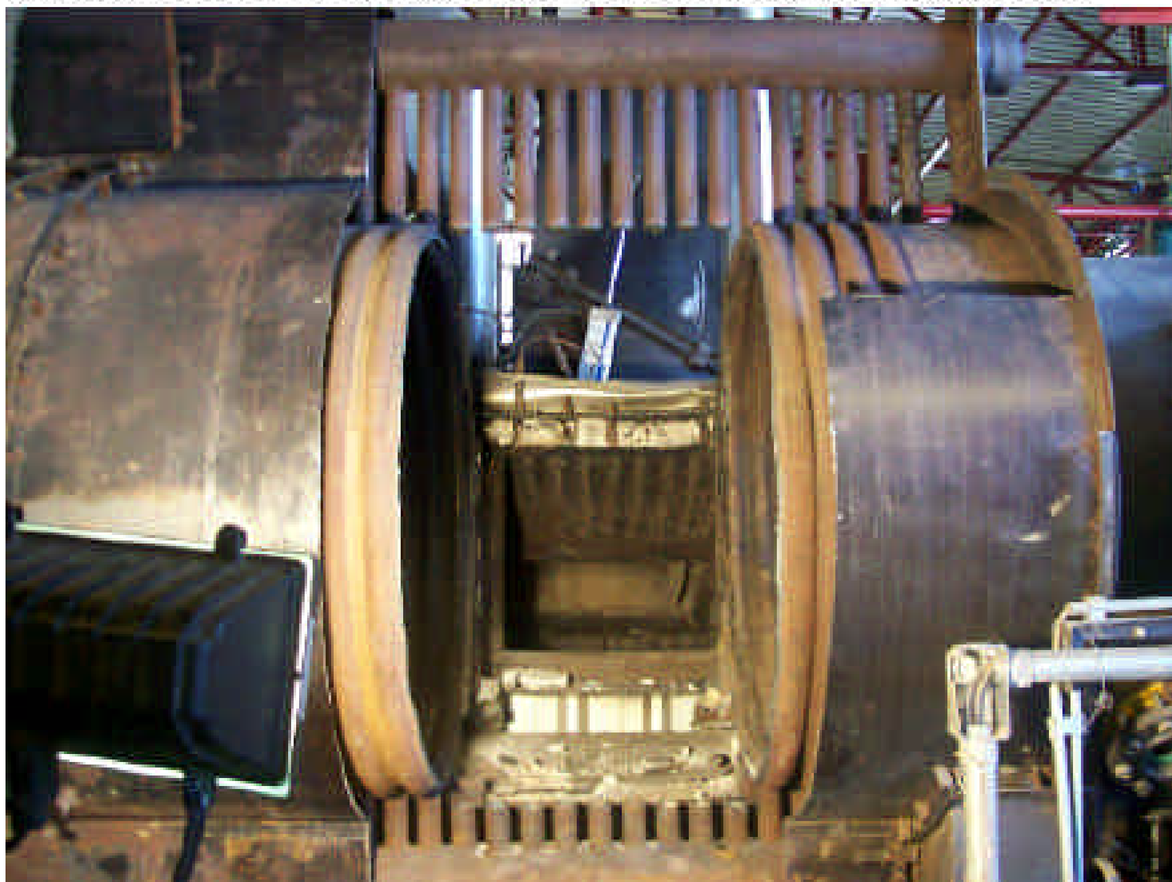
Recordemos que para la misma presión (temperatura en vapor saturado) el volumen que ocupa una masa de agua es mucho menor que el volumen que ocuparía dicha masa de agua una vez transformada en vapor (cuanto más baja es la presión de trabajo de la caldera, mayor es esa diferencia, por ejemplo;si la caldera trabaja a 10 Kg/cm2 el volumen de 1 litro (1 dm3) de agua al evaporarse se transforma en 180 litros de vapor (180 dm3), y si la caldera trabaja a 50 Kg/cm2 1 litro (1 dm3) de agua se transforma al evaporarse en 39 litros (39 dm3) de vapor. **Pero recordemos que el agua es mucho mejor para refrigerar las superficies de intercambio que el vapor** (que se comporta más como un gas que como un líquido), **las burbujas del vapor que se va formando en el agua saturada absorben gran cantidad de calor** (debido a que el calor latente de vaporización), **pero es la presencia de agua junto a las burbujas de vapor que "mojan" la superficie y mejoran el coeficiente de transmisión de calor y es el vapor que se forma en donde va esa gran cantidad de calor.**

**El problema es que si "metemos" en una capilla de combustión de quema directa o en un gasógeno (o cámara torsional) un volumen de agua debemos de sacar una cantidad de agua y vapor con un volumen muy superior por la formación de dicho vapor. Esto se hace por medio de los tubos "vaporizadores"** (o "desahogo", o de retorno a la caldera en la parte superior de las cámara de combustión)**, el problema aparece cuando los retornos ("vaporizadores") son insuficientes en altos régimenes de combustión para extraer toda la masa de agua evaporada, la misma genera una pérdida de carga** (como si fuera un tapón de vapor) **que no permite que entre agua suficiente para la refrigeración de los tubos de las capillas o gasógenos (o cámaras torsionales), y como el vapor es un elemento que tiene menos capacidad de absorber el calor, provoca el recalentamiento de las paredes de los tubos, provocando un desgaste por corrosión por alta temperatura o la quema de los mismos, problema que se agrava con las condiciones del agua** (PH alto, alta salinidad, contaminaciones que

alteren la tenso-actividad del agua, como grasas, aceites, etc.) **o si las superficies a enfriar tienen algo de incrustaciones.**

**La comprobación de este problema se nota por dos observaciones o mediciones, la primera es la "oscilación de los niveles de agua" y la segunda es poner un termómetro de superficie que mida la temperatura de los tubos "vaporizadores" o de retorno a la caldera** (sumando unos 15ºC a 20ºC por la pérdida de temperatura de la pared del tubo) **y observar si esta temperatura está por encima de la correspondiente al vapor saturado, es decir, si hay vapor "sobrecalentado"** (esto significa que la parte superior de los tubos de las cámaras de combustión están refrigeradas solo por vapor, lo que eleva la temperatura de la pared de los tubos, provocando un desgaste por ataque por alta temperatura y en algunos casos los tubos hervidores lanzan bocanadas de agua y vapor que provocan arrastres de agua en el vapor de la caldera, ya que descargan golpeando los separadores de agua de la caldera que son por lo general insuficientes para la separación del agua y el vapor en estas condiciones)**.**

**CAMARA TORSIONAL DE GASOGENO CON FALLA EN LA CIRCULACION**



**Las adaptaciones de calderas a leña son las más peligrosas de no**

**respetar el tema de la circulación interna, o sea la refrigeración de las superficies de intercambio de calor. El caso que mostraremos más abajo ni siquiera llegó a la presión de trabajo y el hogar de la caldera "colapso" por falta de enfriamiento, aquí si bien desde el punto de vista constructivo estructural no resiste una aceptación, por lo menos soportó la presión de prueba hidráulica, sin embargo en la primera intención de levantar presión de vapor con combustión colapsó antes de llegar a la presión de trabajo (7 kg/cm2), provocando una expansión que el frente de la caldera fue a dar a 85 m. y la gente que estaba prendiendo la caldera, salió muy dañada. Veamos la foto.**



**En el caso superior, si vemos la entrada de agua desde la caldera hacia la cámara de combustión, que es un colector de agua de no menos de 4", sin embargo la descarga en la parte superior son 3 tubos "hervidores" de 1". Si razonamos que el agua cuando baja 1 litro (1 dm3) cuando se evapora se transforma en 277 litros (dm3) de vapor a 6 Kg/cm2, desalojando el agua de la cámara de combustión adaptada hacia el cuerpo de la caldera, presión a la que el hogar de la caldera se abrió como una "lata de sardinas", provocando un expansión muy violenta, que casi termina con la vida de varias personas, además de daños materiales que son insignificantes frente a la vida humana.**

**El riesgo de la "adaptaciones" es mayor, porque generalmente intervienen personas que no tienen el suficiente conocimiento del tema y de lo que puede llegar a suceder, no se trata solo de meter agua sino de como sacar esa agua en parte evaporada y que si no tiene salida el vapor "empuja" el agua haciéndola retroceder hacia la caldera, lo que hace trabajar a hogar sin agua de enfriamiento.**



EXPLOSION DE CALDERA HUMO-TUBULAR DE RECUPERACION

# 6-EMERGENCIAS

La caldera es un **elemento** sometido **a presión** interior: esta presión somete a las "**paredes**" **metálicas** de la caldera a **muy grandes tensiones** (la fuerza sobre las paredes es igual a la superficie por la presión en las unidades coherentes, es decir: Kg./cm2 x cm2 = Kg. ó Lb./Pulg.2 x Pulg2 = Libras, y esta tensión dependerá de la forma geométrica y del espesor del material). Por lo que debemos de **tener en mente** que la **tensión en el material** en una **caldera de baja** presión **o de mayor presión**, es **la misma**, ya que sus espesores serán proporcionales a la presión y dimensiones, con esto significamos que **no hay calderas seguras**, **todas son calderas** y **deben tratadas como tales, por su peligro de "explosión"**.



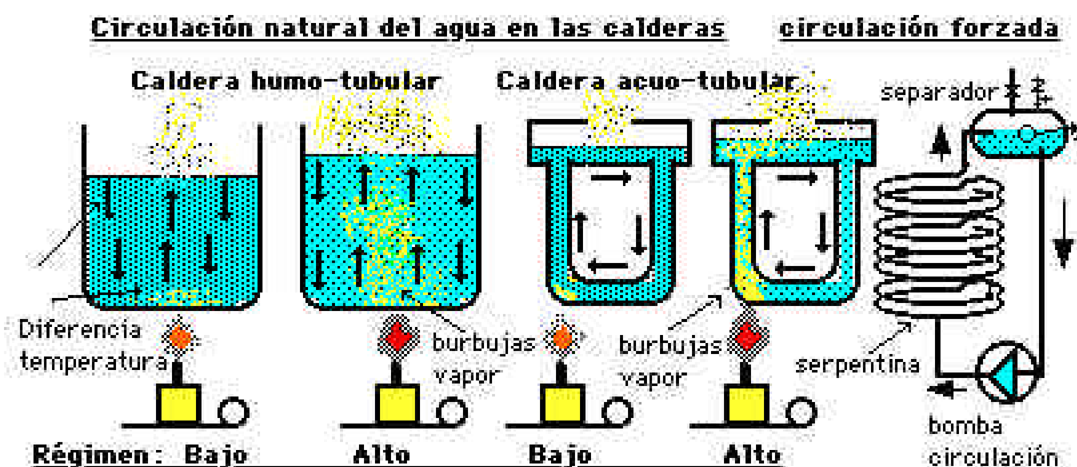

Pero consideremos que este **metal** a su vez está sometido a **altas temperaturas** (del lado del fuego a muy altas y del lado del agua o vapor a menores. **Pero si del lado del agua hay depósitos**, es decir **incrustaciones** o **barros**, al **no haber buena transmisión del calor** del "fuego" al agua y vapor, la pared metálica no se enfría a la velocidad suficiente y la **temperatura del metal** puede llegar a ser **muy alta**, **hasta ablandarse y estirarse** por la fuerza de la presión, o simplemente "**quemarse**") y **a variaciones de la misma temperatura** (al variar las condiciones de combustión y la presión del lado del agua, además de la posible -no aconsejable- alimentación con agua fría, el metal se encontrará sometido a una "dilatación y contracción" tipo fuelle de "bandoneón", que fatiga al metal, como quien "corta un alambre doblándolo repetidamente"). Estas variaciones físicas del metal, entre otras cosas en las calderas humo-tubulares, puede provocar el aflojamiento de los tubos sobre los mandriles en las placas y fisuras en las placas mismas, provocando pérdidas y un posible accidente.

**Esta variación de las dimensiones de la caldera, debido a los cambios de temperatura** (más de 1,2 mm. por metro cada 100ºC de variación), **hace necesario que la caldera, disponga en la base que la soporta, una sistema de soporte que permita la dilatación y contracción** (de lo contrario, en una caldera, esto puede ser motivo de una corrosión por "stress" en la envuelta o domo, que con el tiempo provoque un accidente, dado que la envuelta se puede perforar en la unión entre el soporte-pata- y la envuelta, **accidente muy grave si llega a ocurrir**). Estos elementos para facilitar la dilatación y contracción, generalmente en las bases de la caldera (patas), deben ser mantenidos libres, lubricados si es necesario, para evitar su "engripamiento" (se tranca). Ejemplo: una caldera cuya distancia entre la "patas" delanteras y las traseras, sea de 5.000 mm. (5 m) y la caldera trabaja a 10 Kg/cm2 (la temperatura es de 183ºC en el cuerpo de la caldera), la diferencia de dilatación entre la envuelta (entre patas) y la base soporte es de (183ºC-25ºC) /100 x 1,2 mm x 5 m= 9,48 mm (9,48 mm. de diferencia que debe absorber el sistema de dilatación entre la caldera cuando está fría y cuando esta llega a la temperatura de trabajo, o sea 183ºC).

A lo anterior debemos **sumar** el hecho que la **transmisión del calor al agua**, aún estando la **superficie** del lado del agua o vapor **limpia**, **depende de la velocidad del agua o del vapor** sobre dicha superficie (ejemplo: si queremos enfriar con agua más rápidamente algún alimento en un recipiente, agitamos el agua que rodea el recipiente y al alimento lo revolvemos). En las calderas que estamos considerando, la **circulación del agua** depende de la "**circulación natural**" de la misma (en Uruguay la mayoría de las calderas son de **circulación natural,** pudiendo haber calderas de **circulación forzada** por medio de bombas, como ser en ANCAP, ya de gran porte, y pequeñas calderas de serpentinas en la industria). Esta **circulación natural** es provocada por dos causas: la **diferencia de**

**densidad** (el peso por unidad de volumen) entre el agua más **caliente** (es más liviana, sube) y el agua más **fría** (es más pesada, baja), y la formación de "**burbujas**" **de vapor** en el interior del agua (contra las superficies de calentamiento) las que al ser más livianas que el agua suben ayudando al **movimiento del circulación del agua** (esto se puede ver en una recipiente hirviendo). Ambas causas de la **circulación**, cuando **se diseña la caldera** son **cuidadosamente estudiadas**, ya que si bien, estas circulaciones podrán ser intensas, **son fácilmente alterables**, pudiendo provocar esto una **falta de** "**enfriamiento**" (insuficiente) como para que se produzca el recalentamiento del material de la caldera, produciendo fatiga (fisuras), deformaciones o quemado (entra en combustión con el oxígeno del aire o de la descomposición del agua o el vapor).

**Esto nos lleva a considerar que la circulación interna del agua de caldera (y vapor en los sobrecalentadores), son factores fundamentales para el diseño y conservación del funcionamiento e integridad de una caldera.**

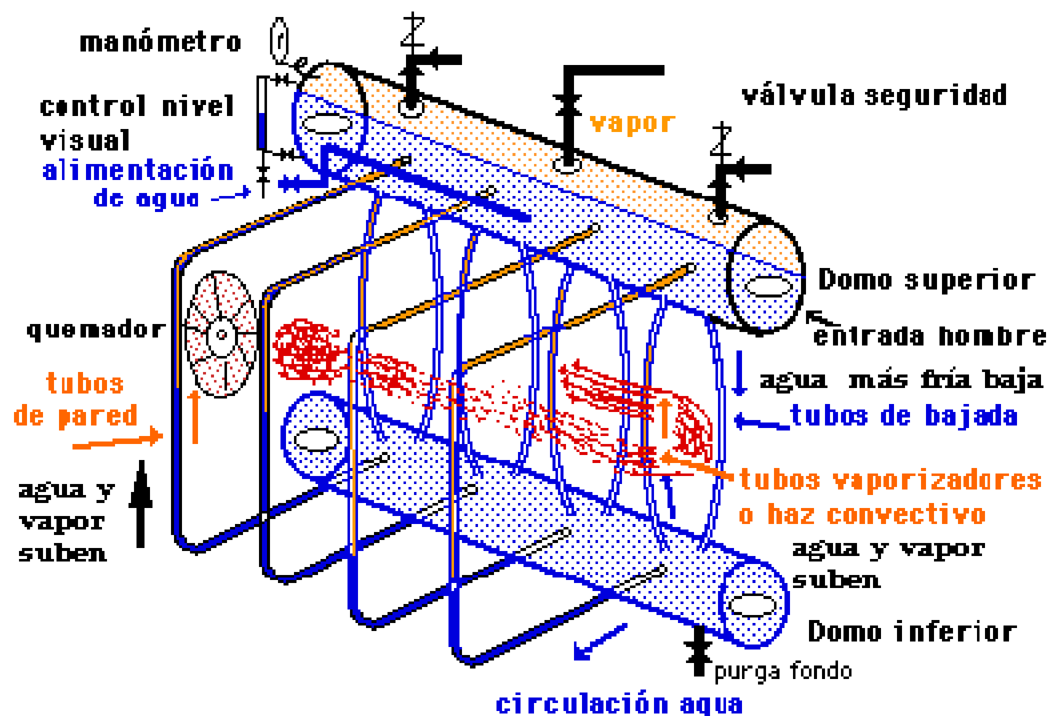



Esta **falla de la circulación** "**natural**" del agua en el interior de la caldera puede ser **provocada** por varias razones. Entre ellas: **exceso de combustión**, una **bajada de presión** muy pronunciada con el fuego al máximo, una **bajada de presión** demasiado **rápida** (apertura de una válvula de vapor grande), **combustión fuera del lugar** (por rotura de paredes o mal controlada, ensuciamiento locales por acumulación de hollín, etc.), **taponamiento** por barros o incrustaciones, **herramientas olvidadas** en una reparación o **elementos desprendidos** en el interior de la caldera (chapas, cascarones de incrustación. etc.), **purgas hechas en forma anormal** (no se debe purgar los colectores de barro de las paredes del hogar de las calderas acuo-tubulares cuando las mismas están en un alto régimen de vaporización, idem "capillas" y gasógenos), o por falta de **controles químicos** (sólidos muy altos: disueltos y/o en suspensión, alcalinidades muy altas: PH alto, contaminaciones con elementos orgánicos ó tratamientos mal hechos: dosificación masiva), etc..

**En la circulación forzada,** la combustión está "**enclavada**" (supeditada) a que la bomba funcione o por medio de un **sensor de flujo** (detector de caudal de circulación), **de manera que la combustión cesa inmediatamente al detenerse la circulación de agua** (de lo contrario, la serpentina al no haber circulación de agua, se quema).

Como vemos, **la caldera es un elemento dinámico**, **complejo**, que debemos **estar atentos** a súbitos problemas que se pueden presentar, que llamaremos : "**Emergencias**" .

Para encarar estas "Emergencias" debemos de **estar informados** de como y el **porqué del funcionamiento** de una caldera, ya que dadas las circunstancias de presentarse la emergencia, **no tendremos mucho tiempo** para pensar. Esto significa la **necesidad de un entrenamiento mental** a cada situación que se pueda presentar.




**<u>Siendo el "bajo nivel de agua" la causa más importante en los accidentes de calderas, debemos prestar la mayor atención a este problema:</u>**

**<u>1-Síntoma: Baja la presión de la caldera</u>**

Cuando **baja la presión** de la caldera, **normalmente** puede ser que la **cantidad de combustión es insuficiente** para lograr la vaporización necesaria.

**<u>Pero: cuidado !!!!! no aumentar la combustión antes de controlar el nivel visual</u>**: ya que también puede ser debido a que no hay suficiente nivel de agua en el interior de la caldera (si falla la alimentación de agua y el sistema de control de nivel: que apaga el quemador y hace sonar la alarma se encuentra bloqueado, generalmente por "barros o incrustaciones", quedaremos expuestos al error de aumentar la combustión manual o automáticamente). **<u>Esta es la causa Nº1 de accidentes graves en calderas.</u>** La explicación a esto se debe a que **al bajar el nivel del agua**, también queda al **descubierto la superficie de calefacción** que vaporiza el agua. Al disminuir la transmisión de calor, se produce una **menor vaporización que no puede mantener la presión** (esto se hace grave en los quemadores totalmente automáticos, ya que la combustión es <u>regulada por la presión</u> y se debe de **apagar automáticamente por falta de nivel** si este funciona correctamente) . En el caso del **foguista, éste también se guía por la presión** (si bien podrá existir un control de nivel con corte de quemador y/o alarma, queda la alternativa de que si el foguista está atento **controlará siempre el nivel del agua como control primario antes de aumentar la combustión**).

**Conclusión: no aumentar nunca la combustión, sin controlar el nivel de agua primero** o si baja la presión fijarse en el nivel del agua en forma inmediata.

**En caso de que se haya perdido el nivel del agua**, primero bajar la combustión o **apagar el quemador**, purgar rápidamente el nivel para saber si hay alto o bajo nivel (si el nivel es alto, al purgar aparece el nivel del agua, si el nivel es bajo no aparece al purgar) . **Si el nivel está bajo o ha desaparecido**, **apagar inmediatamente el quemador, apagar** (o cerrar) **la alimentación del agua y cerrar la válvula de vapor.** (Para que no se quede sin agua totalmente la caldera. Al no haber combustión no se generará más vapor y en caso de que se produzca una sobre-presión por el calor del material, saltarán las válvulas de seguridad. Pero si vaciamos totalmente la caldera, la misma se recalentará localmente y se producirá la torcedura de sus elementos). Se podrá abrir una válvula de seguridad u otra válvula de vapor para "descomprimir" un poco la presión interna del vapor. Cerrar casi totalmente el aire (dejar un pequeño "tiro"para mantener un suave barrido de gases en la cámara de combustión, pero éste debe ser muy pequeño para evitar tensiones o combustiones del metal recalentado). **Si la caldera es de combustión de celulósicos** (leña, cáscaras, etc), **cerrar totalmente el aire**, **de manera que no se produzca combustión**.

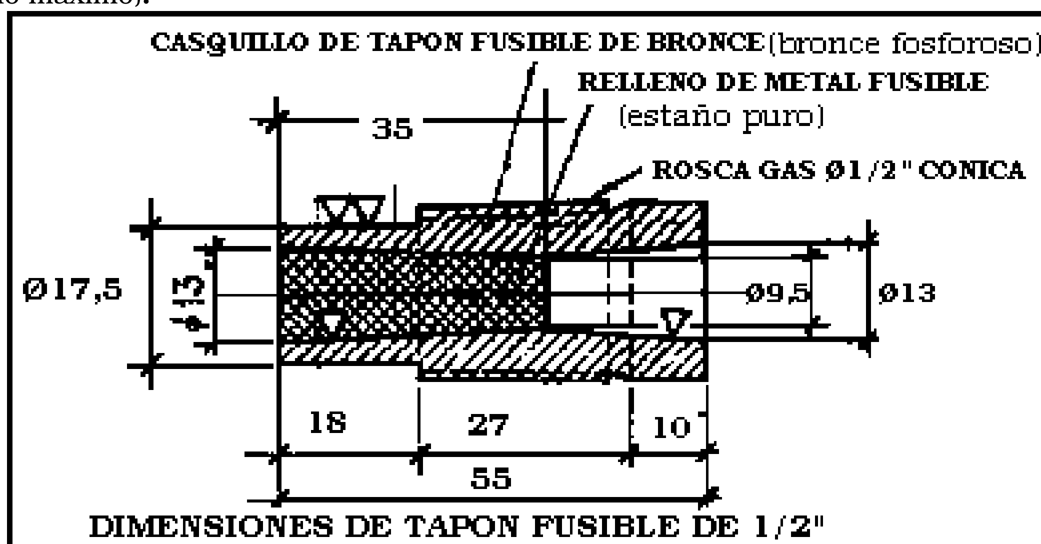
**No se debe alimentar con agua** si comprobamos que el **nivel de agua se encuentra fuera del nivel visual** o por **debajo del último (inferior) "grifo de prueba de nivel "**, ya que si se **alimenta la caldera** con **agua** que se encuentra **relativamente fría** con respecto al **metal "recalentado"** podemos producir desde la **"torcedura"** a la probable **"rotura" del material**, provocando **una "explosión" de la caldera** (al haber presión interior y fallar el material, aunque la verdadera "explosión" de la caldera ocurre generalmente cuando la misma se ha quedado totalmente sin agua y el metal está "al rojo vivo", en el caso de alimentar con agua se produce una verdadera explosión o reacción entre el agua y el metal sobrecalentado, produciendo como una expansión violenta debido a esta reacción físico-química entre el hierro de la caldera y el oxígeno-hidrógeno del agua). En esta situación, la caldera se debe **dejar enfriar hasta la temperatura ambiente** (con el quemador apagado, alimentación de agua "cerrada", vapor cerrado). Luego de fría se comprobará toda la caldera, incluyendo **el tapón fusible** ( que **debería fundir** si el nivel del agua bajó por debajo del mismo). Si se notaran partes recalentadas (cambio de color, deformaciones, aflojamiento de tubos, etc.) **se deberá recurrir a un técnico** para una inspección más a fondo.

De todas maneras es aconsejable efectuar una prueba hidráulica antes de volver al servicio , luego de la inspección visual.



TAPONES FUSIBLES EN DISTINTO ESTADO

**No siempre el tapón fusible fundirá, dado que si está incrustado, puede que funda pero, no escape "vapor" debido a que está tapado por la incrustación** (de aquí la importancia de cambiar los tapones fusibles en los tiempos previstos, entre 6 meses a un año máximo)**.**



DIMENSIONES DE TAPON FUSIBLE DE 1/2"

**Por lo general, no podemos decir que el "tapón fusible" pueda apagar el fuego de la caldera** (motivo inicial de su "invención, así como dejar escapar la presión)**, pero es muy útil su presencia, dado que está indicando una anomalía** (bajo nivel o reiterados bajos niveles no pronunciados), **de manera que el foguista tiene un "aviso" para actuar o el técnico tiene un "testigo" que puede confirmar una situación de duda** (si hubo un bajo nivel o hubo un problema de tenso-activadad fisicoquímica en el agua que alteró la circulación interna, provocando un recalentamiento "local" que provoca la falla del material).

**También, al fundir en forma parcial o total un tapón fusible**, **no necesariamente se debe a un "bajo nivel", puede que el tapón fusible no fuera confeccionado bajo las "estrictas normas"**, es decir, dimensiones (la conicidad es muy importante, si el tapón es cilíndrico en la parte en donde está el estaño, es muy probable que en poco tiempo tienda a perder), calidad del estaño (pureza) o procedimiento de la fundición (limpieza, temperaturas, etc.)



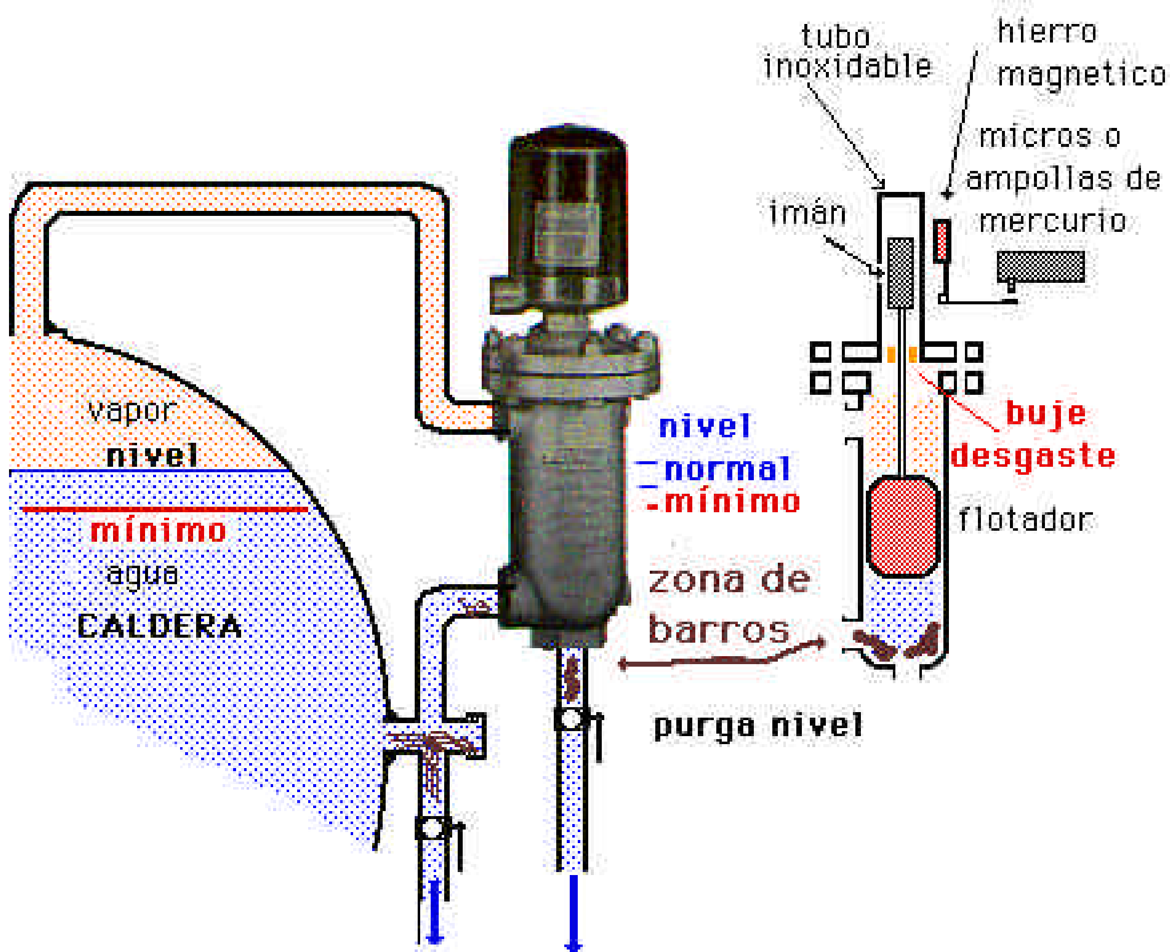
TAPONES CON FALLAS (INCRUSTADO, O CILINDRICO)

En caso que la pérdida de nivel fuera por "**alto nivel**", con el "**fuego**" **apagado** o al mínimo, **se bajará el nivel de agua en forma rápida** (cerrando la alimentación momentáneamente y **purgando** preferiblemente de **superficie:** purga continua). El riesgo en este caso es el "arrastre" de agua, que puede provocar un **golpe de "ariete"** (agua impulsada a la velocidad del vapor, que al detenerse provoca un "martillazo" contra las cañerías o equipos) en las **cañerías o equipos** donde se use el vapor (pudiendo esto ser **muy peligroso** en aquellos equipos como : **cilindros secadores**, pailas, etc.).

**También:**
El **alto nivel** puede **ser provocado momentáneamente** al haber un **consumo de vapor muy elevado** (generalmente con un alto régimen de vaporización o con los límites químicos del agua muy altos). En este caso lo **aconsejable es cerrar un poco la salida de vapor** a ese consumo excesivo. De lo contrario podemos pasar, si purgamos, de un alto nivel a un bajo nivel cuando pase el momento pico de ese consumo.

**En los sistemas de control de nivel por flotador** ( McDonnell® y otros) **el exceso de nivel** (o alto nivel) **puede ser provocado en parte por un "pinchazo"** (perforación de la boya, que se va llenando de agua y pierde flotabilidad) **perforación provocada por lo general por corrosión** (especialmente en las boyas de acero inoxidable, que son atacadas por el ion cloruro en aguas de pozo o cuando entra sal del ablandador a la caldera, o falta de purga) **o puede haber una "colapso" parcial** (o total), **provocado en la boya por estar en el límite máximo de presión que puede soportar** (esto puede ser provocado por distintas razones: **una prueba hidráulica**, **un "golpe de ariete" al purgar**-o **la la cañería y el sistema de válvulas es inadecuado lo que provoca un exceso de "paso" de vapor que golpea la boya y comienza su "aplastamiento"** que no permite soportar la presión al perder la forma esférica de la boya, por ello **se debe purgar al máximo posible**, en forma **lenta hasta la apertura total,** que no debe ser de un valor exagerado, pero , o porque la presión de la caldera ha sido elevada y la boya está en el límite de la presión de trabajo, o a

veces provocado por un prueba hidráulica que rebasa la presión máxima que soporta la boya). **En este caso el alto nivel se mantiene en forma permanente y la solución es el cambio del flotador.** Cuando una boya tiene un "pinchazo", perforación, **no intente soldarlo, es muy peligroso** (ya que la boya tiene agua en su interior y al ser calentada para soldar, el agua se vaporiza y levanta grandes presiones internas que puede "reventar" la boya, han ocurrido graves accidentes al intentar hacer este tipo de reparación). **Cambie la boya por una nueva, pero investigue la causa de la falla.**




**En algunos niveles por flotador, del tipo que el flotador se desplaza por una guía en el interior de un buje** (caso de los niveles Magnetrol®), **la falla puede aparecer, tanto en un problema en la boya, como una problema de desplazamiento de la varilla en el buje-guía** (que tiende a trancarse), **esto es muy peligroso, porque se puede trancar en un nivel alto** (produciendo un bajo nivel al no alimentar la caldera y eliminar el corte por bajo nivel, algo muy peligroso)**, como en un nivel bajo** (produciendo un alto nivel y con ello peligrosos "arrastres" de agua en el vapor).

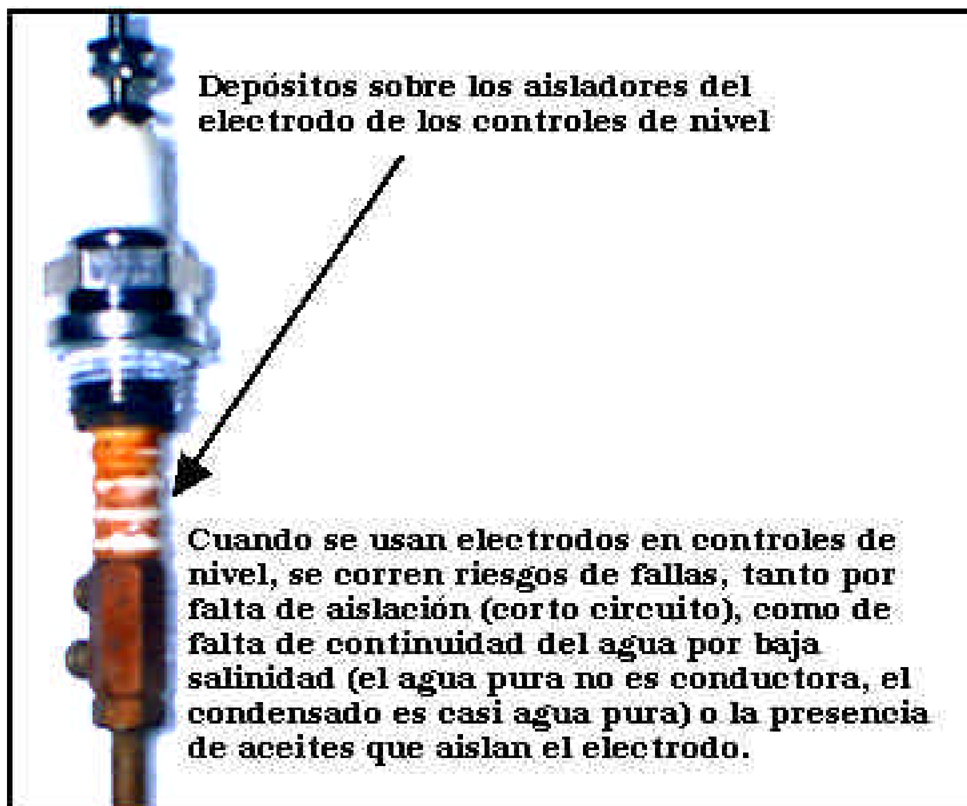
**Las fallas en los niveles de agua, no solamente son provocados por fallas en los elementos mecánicos** (como ser en el flotador o en el desplazamiento del mismo, o en los elementos asociados a la boya, tanto su mecanismo de palancas o desplazamiento, sino que el sistema que transmite la posición de la boya a los sensores eléctricos, que pueden ser de **ampollas de mercurio, que tienden a dejarse debido a que el mercurio es contaminante,** poniéndose **micro-interruptores,** siendo estos movidos, en baja presión, por las palancas a través de un "fuelle", que permite el movimiento pero que el vapor no salga al exterior, este fuelle de acero inoxidable o cobre, también se puede "pinchar", o fatigarse-provocar su fisura-, por las mismas razones que el flotador-ion cloruro en exceso cuando es de inoxidable o de amoníaco en el caso de los de cobre, o los excesos de presión en las pruebas hidráulicas-lo cual pone en riesgo al sistema al "inundarse" con vapor y la humedad provoca "corto-circuitos" que hacen falsear la indicación de las ampollas de mercurio o las micro, pudiendo dejar sin protección de corte por bajo nivel al quemador).

Cuando la presión es mayor, en los controles McDonnell® (o en otros sistemas de boya), en vez de transmitirse el movimiento de la boya por medio de un elemento de "sello", que es un fuelle de acero inoxidable o cobre, se utiliza el desplazamiento lineal de un elemento magnético en el interior de un tubo "no magnético" (cobre o acero inoxidable) y el desplazamiento se detecta por medio de pequeños imanes que son "atraídos" al paso del elemento magnetizable contra un resorte antagónico, estos pequeños imanes son solidarios a las micro-interruptores, que abren y cierran según sea el nivel del agua. La falla más común estos elementos, si bien puede ser mecánica (boya, desplazamiento, barros, etc.), los micro-interruptores pueden fallar o el sistema del mecánico de los mismos pueden llegar a "fatigarse" y fallar. Todo lleva a tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

**Todos los controles de nivel, deberían se cambiados cada tantos años** (según indica el fabricante), **pero lo que no se puede hacer es purgar inadecuadamente, ya que la falta de purga o la mala práctica de purga** (purgar en el "aire" o sea purgas "tímidas", no limpian la parte interna del control, permitiendo que la boyas se "cuelguen" sobre el barro depositado, provocando que la caldera se quede sin agua y sin corte por bajo nivel, lo que es muy peligroso).

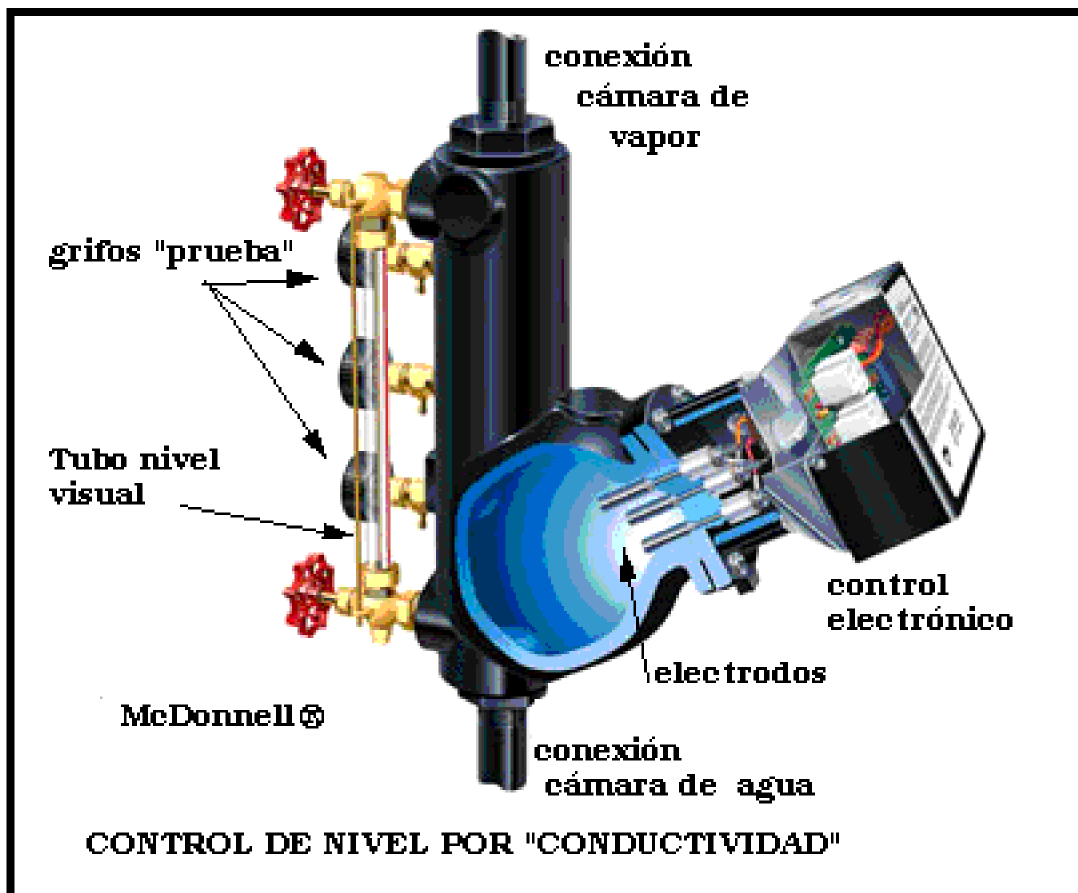
**Por todas estas razones, deben haber por lo menos 2 controles de nivel** (corte del quemador por bajo nivel), **purgar cada 4 horas los niveles y ver que se apague el quemador, cambiar los cables eléctricos cada 5 años** (o según la necesidad, poniendo cables adecuados para las condiciones de trabajo, temperatura, protección mecánica y humedad). Muchas veces conviene que cada control de nivel "baje" por canalizaciones eléctricas separadas, para evitar que la pérdida de vapor de un "fuelle" puede poner en peligro de corto a todo el sistema, porque el vapor puede ir por el caño de protección de los cables hasta el propio tablero y hacer un gran corto-circuito).

**Hay una tendencia actual a poner controles de nivel por medio de electrodos** (esto se debe a que son de menor costo que los de flotador)**. Las empresas como McDonnell®,** aconsejan que los "cabezales y sus electrodos" sean cambiados cada 2 años (esto se debe a la problemática que se explica a continuación).




En mi experiencia personal, puedo decir que estos controles eléctricos (funcionan por conductividad del agua), **que han tenido un uso muy popular hace años atrás, pero hemos hecho campañas para que se eliminaran por los riesgos que se corría con ellos** (muchos accidentes de calderas fueron provocados por estos controles de nivel, ya que la conductividad del agua de caldera es muy variable, especialmente dentro de los recipientes repetidores de nivel, en los cuales tiende a acumularse condensado, que es de baja conductividad, lo cual hace necesario trabajar con altas "resistencias" eléctrica o sea baja conductividad del agua, por lo cual el sistema debe contemplar dicha situación y contemplar el problema del ensuciamiento de los aisladores, tanto interna como externamente). **Tienden a "ensuciarse" los aisladores y provocan falsas lecturas del nivel del agua** (aconsejamos limpiar los aisladores, interna y externamente, cada 6 meses o un año)**.**

**Otra causa de falla en los controles de nivel, es la tendencia actual de poner los controles de nivel a una columna repetidora de nivel de gran diámetro** (este "caño" que hace de columna repetidora, tiende a taparse, al llenarse de barros en su parte inferior, dado que el barro en suspensión en el agua se va introduciendo en la base de la columna repetidora, se asienta porque el agua se mueve muy lentamente al no tener circulación interna dentro de la columna, ya que arriba condensa el vapor y abajo conecta con el agua de la caldera, y la purga de los niveles no alcanza a provocar una "velocidad" de limpieza de la base de la columna). **Esta falla de las columnas repetidoras, se elimina en parte, al poner una purga de gran diámetro** (1" o más) **en la base de la columna, en forma de T** (aunque no soy partidario de las columnas repetidoras, porque al cabo del año, las pérdidas térmicas por su gran superficie expuesta, cuesta como 1.000 litros de combustible líquidos o 1.100 m3. de gas o 3,5 Tn. de leña 25%H.b.h).




**2-Falta de alimentación de agua** .

**La falta de nivel de agua es muy grave. Aún con el fuego apagado** puede provocar aflojamientos de tubos o recalentamientos locales (que provocan corrosión, fatiga o fisuras, etc.). Por lo que hemos visto anteriormente, debemos evitar que la caldera pierda el nivel de agua bajo cualquier circunstancia, por lo que debemos hacer de forma inmediata:

a-Si **no hay agua de alimentación**: **apagar** el"fuego" y **cerrar el vapor**.

b-Si hay **corte de electricidad** (no funciona la bomba de alimentación y no hay alimentación auxiliar: inyector o bomba alternativa): **apagar** el "fuego" y **cerrar el vapor** para que no se vacíe la caldera y deje al descubierto los tubos u otras partes de superficie calefactora.

**La falta de alimentación de agua, si el quemador no se apaga a tiempo, puede llevar a provocar la "pérdida" de la caldera** (por "quemado") **o la explosión de la misma** (tanto si entra agua con la caldera recalentada o por simple falla del recipiente a presión al llegar el material a no resistir la presión interna).

**Esta es la falla más común** (y ocurre por muchas razones),


HOGAR CALDERA HUMO-TUBULAR : BAJO NIVEL DE AGUA

**3-Falla de la estanqueidad de la caldera .**

Esto puede ser una pérdida de agua o vapor, en el interior de la cámara de combustión o pasaje de gases (tubos perforados, mandrilados flojos, fisuras, etc.), o pérdidas en la envuelta exterior ("tapillas", "entrada de hombre", fisuras de envuelta, conexiones a la caldera , etc.).

**Apagar el quemador**, **mantener la alimentación de agua** hasta el enfriamiento de la caldera, el **aire** se mantendrá **si es necesario para extraer o expulsar** los vapores por la chimenea y se tirará vapor por las válvulas de seguridad u otras (de manera de disminuir la presión de vapor que "empuja" la pérdida al exterior).

La caldera se deberá como siempre dejar enfriar tratando de mantener el nivel de agua (si es posible).

**4- Variaciones del nivel del agua .**

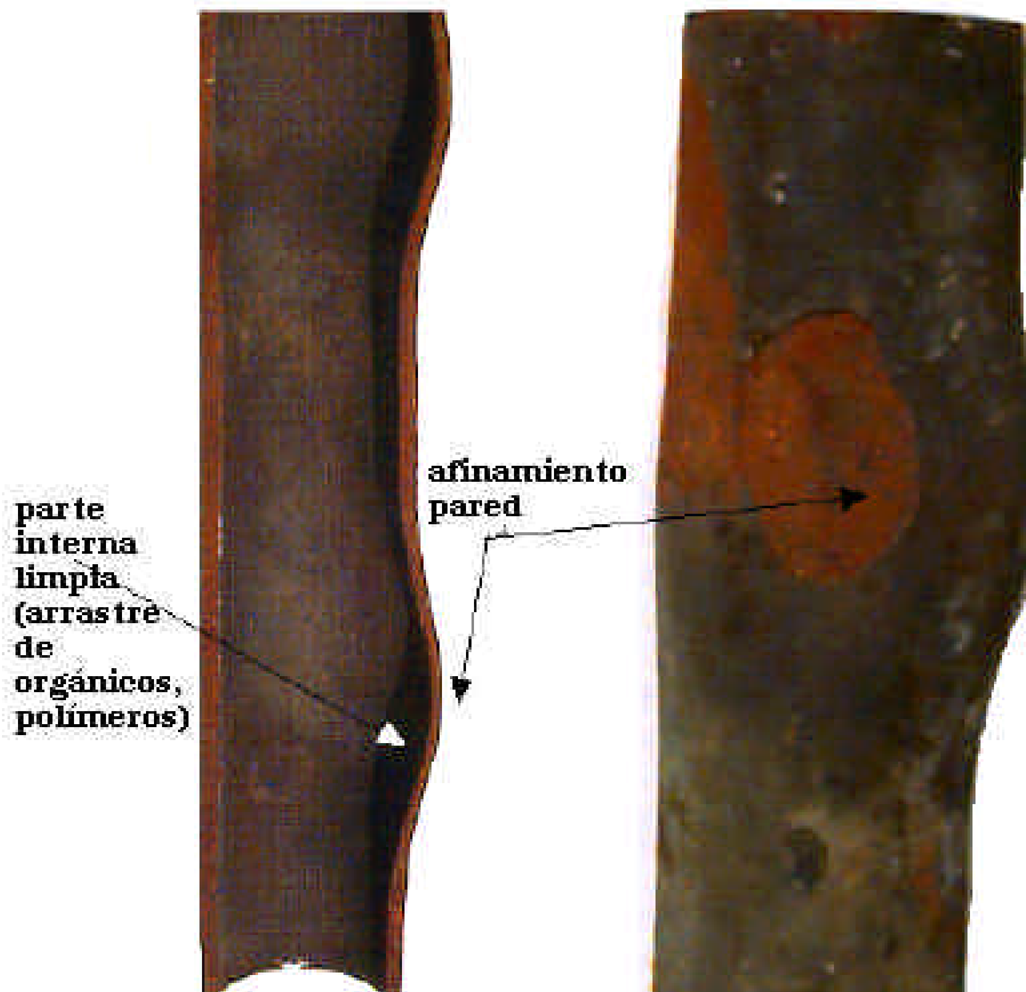
Las **variaciones anormales** del nivel del agua está indicando la posibilidad de distintos problemas :

**a-Consumo excesivo** (o momentáneamente excesivo) **de vapor**, esto provoca "arrastres" de agua en el vapor y cabe hasta la posibilidad de dejar con bajo nivel de agua a la caldera ("priming" violento, "succión" del agua por el vapor en forma súbita). **Cierre un poco la válvula de vapor hasta que se normalice el nivel** (avise a producción que controlen el consumo en forma racional).

**b- Límites químicos del agua no respetados** (puede haber muchos sólidos disueltos o en suspensión, o ambos, contaminación por aceites o grasas -materia orgánica-, PH muy elevado, alcalinidad muy alta, etc.) . **Purgue hasta que los niveles se normalicen** (utilice de preferencia la purga continua o de superficie, purgando ampliamente o purgue de fondo con el quemador preferentemente apagado o en fuego bajo para sacar los sólidos en suspensión: barros).

Purgue también los niveles, especialmente los electrónicos con electrodos de conductividad.

ARRASTRE DE AGUA AL SOBRECALENTADOR




**c-Problemas de diseño.** Las calderas con capillas o gasógenos, si la circulación de agua (bajadas de agua) y /o la descarga del vapor que se produce en los mismos **es insuficiente, se producen fluctuaciones de nivel** (debido a que los tubos de las capillas o de los gasógenos tienden a vaporizar y desalojan el agua de su interior en un momento de alta combustión, agravados por problemas físico-químicos del agua, de manera que se produce un desalojo del agua al cuerpo humo-tubular de la caldera, lo que hace en primera instancia es un alto nivel, que impide la alimentación de agua de la caldera y luego al volver a inundar el agua a la capilla o al gasógeno, se produce un bajo nivel (se apaga el quemador). Esto puede llevar a que la marcha de la caldera sea inestable, con paradas por alto (si tiene un corte por alto nivel) y por bajo nivel (que todas lo tienen). Cuando a la caldera le falta purga, o hay otros límites químicos muy altos (PH, alcalinidad, etc. ), o entra algo de "aceites", o la marcha es muy "fuerte", este problema se agudiza.

**Las fallas anteriores (inclusive la c) pueden llevar a provocar una falta de circulación interna del agua de caldera,** provocando una falta de enfriamiento en las superficies de transferencias, que al recalentar pueden fisurar o deformarse por la presión de la caldera. En este caso puede llegar a **colapsar el hogar de la caldera humo-tubular** (casos a y b), dado que del lado del fuego la temperatura está entre 1400ºC y 1600ºC y el metal debería no ser sometido a más de 450ªC o menos, de esto se encarga de enfriar el agua del lado de la cámara de agua, cuya temperatura -la de saturación a la presión de trabajo- no pasa por lo general de 200ºC o menos, pero si el agua no "toca" el metal del hogar para enfriarlo, debido a las **burbujas excesivamente grandes o espumas**, el metal sube su temperatura más allá de lo que puede soportar la presión y colapsa.

**ATAQUE POR SODIO POR FALLA TRATAMIENTO QUIMICO**




Generalmente la falla en la circulación interna se debe a falta de purga (alcalinidad muy alta, PH muy alto, TSD muy alto, etc.), o una contaminación con elementos que alteran la tenso-actividad del agua, generalmente elementos orgánicos, que en muy pequeñas cantidades producen un gran cambio en el agua, provocando espumas, pero también puede haber contaminación con elementos inorgánicos del proceso, como en el caso de lecherías u otras fábricas, en que se utiliza elementos alcalinos como la soda para la limpieza de los equipos. **Frente a estos problemas, lo primero que se observa es una oscilación de los niveles visuales por encima de lo normal, por lo que inmediatamente se debe de tratar de purgar estos elementos, especialmente con la purga continua abierta al máximo hasta que se "calmen" los niveles. Esta falla se magnifica cuanto mayor sea el régimen de combustión de la caldera** (por lo que es aconsejable bajar la producción de vapor, hasta que se haya purgado lo suficiente y se haya investigado la razón del problema, haciendo un chequeo de los valores químicos del agua de caldera y alimentación).

**Falla parecida, pero no igual, a cuando la caldera se queda sin agua y sigue prendido quemador.**

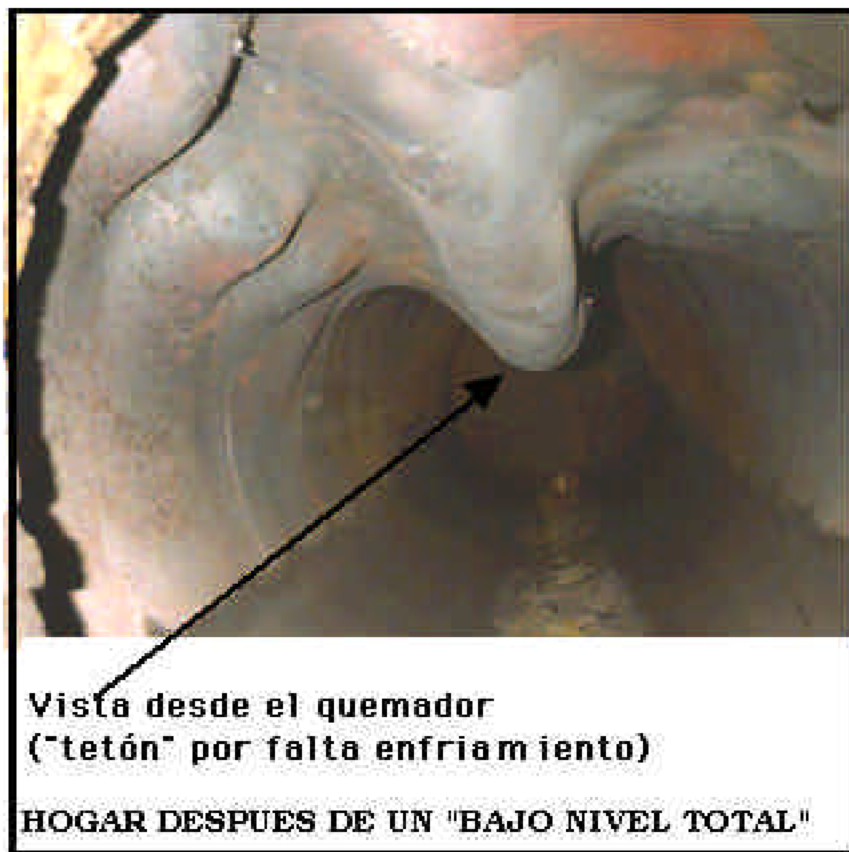


HOGAR COLAPSADO POR FALLA CIRCULACION

**Cuando la caldera se queda sin agua y colapsa el hogar**, por lo general se forma una "bolsa" tipo globo sobre la parte superior del hogar en donde la llama es más intensa (1/3 del largo del hogar aprox. del quemador), pero además los tubos superiores también se recalientan, torciéndose por su dilatación excesiva y "saltando" por lo general de sus mandrilados, **se nota en el vapor que va a fábrica un sobrecalentamiento excesivo que "quema" todo aquel material combustible que esté sobre las cañerías de vapor**, previo de notar que la presión de vapor a caído.

**En las calderas acuo-tubulares**, estas fallas provocan **la "rotura" de los tubos sobre el hogar o sea más expuestos a la llama**, que se manifiesta formando como "bellotas" (pelotas) en los lugares más comprometidos de los tubos para la transferencia térmica.

Todos estos problemas se agravan a medida que las superficies de transferencias se encuentren incrustadas.




HOGAR DESPUES DE UN "BAJO NIVEL TOTAL"

Si observamos el aspecto de los hogares deformados por "bajo nivel de agua" y por "fallas en la circulación, veremos que no solo el color del metal, que en el "bajo nivel de agua" es más de "metal quemado", sino que en las "fallas de circulación" el hogar no falla exclusivamente de "arriba hacia abajo", sino que puede fallar lateralmente (hay hundimientos laterales, que no indican que necesariamente el hogar se recalentó en mayor grado en la parte superior, sino en las partes más difíciles de enfriar o sea en donde mayormente se ha "separado" el agua del metal por una "manta de vapor" que lo aisla, esto es muy notorio en las "cámaras torsionales", que son una prolongación del hogar, en una zona de gran transferencia, en donde más que una deformación, muchas veces hay una "fatiga térmica" que provoca la fisura del hogar por los reiterados recalentamientos, así como los tubos de pasaje de aire secundario.

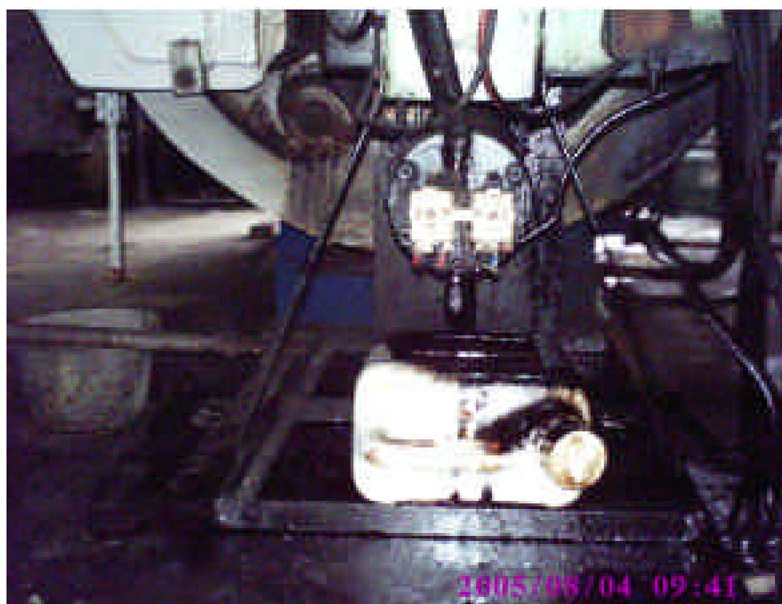
**c-Problemas en la combustión.** También los problemas de combustión se pueden reflejar en las oscilaciones de nivel. En este caso puede haber una **combustión mal controlada** (exceso o corrimiento de la misma) **o alterada** por problemas en la cámara de combustión o en los pasajes de gases (bafles rotos, refractarios caídos, etc.), que altera la circulación interna . Observe la temperatura de chimenea (si es la misma de siempre, si hay humos, etc.). Esta situación también puede llevar a provocar una falla por mala circulación interna del agua de caldera, con el recalentamiento local del material y provocar la falla del mismo por falta de refrigeración.

**Bajar el régimen de combustión** hasta ajustar o reparar.

## 5-Incendio:

**Si se desatara un incendio en la sala de caldera, en el quemador o adyacencias de la caldera: apagar el quemador, dejar la alimentación todo el tiempo que se pueda, cerrar un poco la válvula de vapor para que no se vacie la caldera.** (es evidente que si se usara agua para apagar el incendio, la corriente eléctrica se deberá cortar)**. Se debe estar muy atento a los medios para apagar el incendio, dado la variedad de combustibles que se utilizan hoy en día.** El uso del agua debe ser muy controlada, ya que no debe haber presencia de electricidad en la zona de utilización del agua, ni es conveniente un enfriamiento brusco en las estructuras metálicas (ya que pueden ser deformadas). En los combustibles líquidos es conveniente disponer sistemas de arena, agua con espumas, polvo y CO2. En algunos casos disponer de agua en forma de lluvia o vapor (cuando el incendio obliga a apagar la combustión interna de celulósicos, de manera de no provocar un "shock" térmico que provoque un mayor daño). Este tema debe ser cuidadosamente estudiado, antes que se produzca un incidente, disponiendo no solo los medios de "apagado" o "sofocación", sino que existan todos los medios de ayuda necesario (protección personal), hasta los escapes alternativos de la sala de caldera. Es conveniente que exista una brigada de incendio y el foguista sea el líder en la zona de calderas.

**No olvidar que debe existir una posibilidad de corte externo de la corriente eléctrica fuera de la sala.**




Pérdidas de F. Oíl mediano

## 6-Agua en el combustible: (F.Oíl y similares)

Se nota variaciones en la llama: **inestabilidad**, **chisporroteo, humos en chimenea** (blanquecinos a negruzcos) y la combustión tiende a detenerse . A veces es posible seguir "quemando" este combustible (con exceso de aire a pesar de la mala atomización), pero una vez determinada que la causa es el agua, es preferible parar y **drenar el tanque de servicio** y al tanque de suministro (sacar el agua del fondo de los mismos por medio de las válvulas dispuestas para ello o instalar una bomba que tome de los fondos- si es necesario caliente el F.Oíl y déjelo asentar unas horas). **Limpiar filtros y trampas de agua**. La utilización de aditivos de combustibles hace difícil la separación del agua del combustible

(si la contaminación es menor al 1,5% de agua, esta agua que se integra al combustible es quemada sin problemas y hasta favorece la combustión). Por ello es conveniente no utilizar aditivos si es muy frecuente la presencia de agua abundante en los tanques. (En algunos casos de abundante agua con F.Oíl aditivado, se hace necesario la extracción total del F.Oíl, ya que el mismo no separa el agua por más que se le caliente y se le deje asentar). Hay algunos F.Oíl de cracking catalíticos más pesados que el agua (densidad 1 o mayor), que no permiten separar el agua, en estos casos agregar Diesel Oíl en un 20%, mezclar, calentar y dejar decantar para separar el agua al bajar la densidad de la nueva mezcla.

**Para detectar el agua en el combustible**: tomar una muestra del F.Oíl en un tubo de ensayo (de vidrio de laboratorio), llenar hasta la mitad y calentar con una llama suave el fondo del mismo (rotando): si hay agua se formarán burbujas de vapor que tenderán a subir. O tomar una muestra del F.Oíl en un recipiente e introducir un soldador eléctrico caliente (soldador de estaño, introducir solamente la punta de cobre en el F.Oíl) o una varilla de hierro (o planchuela) caliente al primer color ( azulado pálido). Si al introducir se provocan "ruiditos" (como agua en el sartén) y burbujas, es que hay agua .

De lo contrario: mande hacer un ensayo del combustible a un laboratorio especializado (generalmente la misma Empresa que le suministra el combustible).

**Sólo el estar entrenados mental y físicamente, conociendo la sala de caldera y a la caldera (con los "ojos cerrados"), nos permitirá actuar correctamente y a tiempo.**

No olvidemos que al haber un apagón o al haber vapor en la atmósfera de la sala de calderas, no podremos ver muchas veces con claridad: si el "foguista" no resuelve la situación, difícilmente podrá otra persona hacerlo sin el conocimiento adecuado y lo más probable será que éste provoque un accidente mayor al efectuar una maniobra equivocada.

**Se puede decir que cada 50 Kg. de agua sobrecalentada (a 10 Kg/cm2, 183ºC), podrán hacer una explosión equivalente a 1 Kg. de pólvora.**

Este efecto se debe al volumen que es capaz de ocupar el vapor al expandirse a la presión atmosférica.



EXPLOSION DE CALDERA POR BAJO NIVEL AGUA

**Lo recomendado** en este capítulo **son sugerencias para actuar**, pero cada caldera y cada instalación debe ser previamente estudiada para actuar en consecuencia frente a cada emergencia.

**No olvide de disponer los equipos de incendio necesarios, los materiales de protección para uso personal y herramientas para estas emergencias: una emergencia en calderas no da mucho tiempo para pensar y actuar.**

**Los riesgos en calderas están directamente vinculados a la falta de adecuado mantenimiento de los equipos, especialmente a como se encuentre la superficie en contacto con el agua** (incrustaciones y barros) **y los elementos de seguridad** (fundamentalmente niveles y adecuadas válvulas de seguridad)**.**

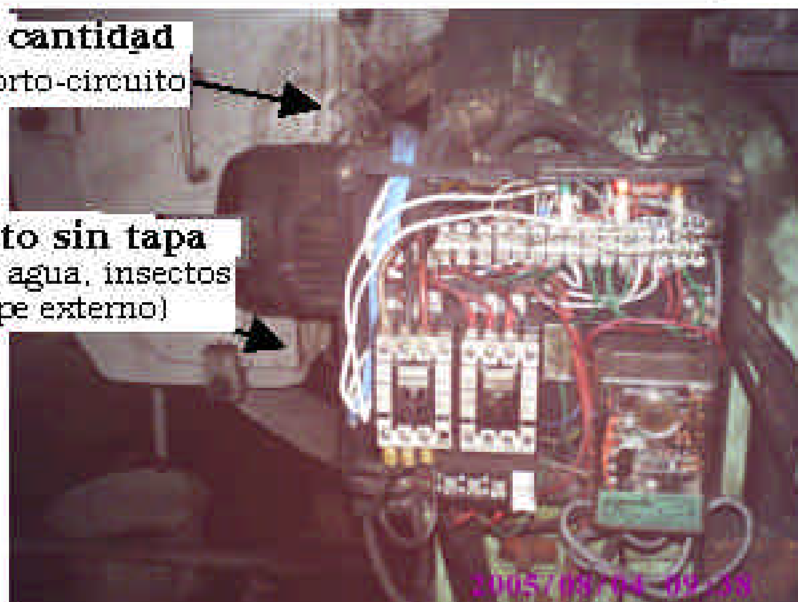
**Una caldera limpia y mantenida es : Eficiente y Segura.**

**Un Foguista preparado y consciente podrá resolver los riesgos que pongan en peligro su integridad.**



**Efecto producido por la explosión de un recipiente sometido a presión con vapor** (digestor de grasa).

UN MAL EJEMPLO DE COMO CUIDAR UNA CALDERA




## CUIDADOS DE LAS CALDERAS

Hemos visto que las calderas están sometidos a una serie de acciones que hacen necesario que la misma **deba ser atendida con atención**, especialmente **para evitar males mayores** . Dividiremos el tema en:

**1-Cuidados reglamentarios.**
**2-Cuidados de rutina: a) de la sala de calderas y la caldera exterior, b) la rutina, c) de la zona de fuego, d) de la parte de agua y vapor.**
**3-Inspecciones y pruebas hidráulicas.**

**1-Cuidados reglamentarios**

La caldera y la sala de calderas está sometida a leyes y reglamentaciones que deben de ser cumplidas. Las calderas tienen al efecto un control periódico (inspección anual y cada 4 años con prueba hidráulica, efectuada por el Ministerio competente) y un control del personal que opera las calderas para que tenga la habilitación correspondiente (otorgada por el Ministerio competente). Los elementos mínimos de protección y la conservación están controladas en estas u ocasionales inspecciones. La sala debe reunir criterios mínimos, que competen a reglamentaciones Nacionales, Departamentales, de las Compañías de Seguros (prevención de accidentes ), del Cuerpo de Bomberos, etc.

Es conveniente que todas estas reglamentaciones deban ser compiladas y mantenidas al día por la Empresa usuaria de la caldera a efectos de estar informados.

**Las reparaciones del cuerpo sometido a presión (aconsejable que solo sean hechos por talleres habilitados)**, traslados, enajenaciones, etc. , deben de ser comunicadas al organismo de control competente .

Las calderas tienen una "libreta" (que se otorgaba con la primera habilitación que se hace para el fabricante) que debe ser mantenida en lugar seguro (que no se pierda), en donde los inspectores de caldera anotan las reparaciones e inspecciones que se efectúan, la caldera tiene un "chapa" donde está apunzonado (grabado) la fecha de cada inspección (punzonadas por el inspector solamente y no por el usuario).

**2-a) Cuidados de la sala de calderas y de la calderas exteriormente.**

La sala de calderas, es el "hogar" del foguista. A todos nos gusta que nuestra "casa" (el lugar en que estamos 8 horas al día muchos días al año y gran parte de nuestra vida), sea un lugar limpio, pintado (con los colores que indiquen las normas de seguridad industrial) y que las herramientas y utensilios se encuentren ordenados y a la orden para cualquier emergencia. Evitar que queden papeles, trapos o estopas, en zonas que puedan provocar fuegos, así como manchas de aceite y combustibles que no sólo pueden originar un incendio, sino que pueden provocar un "resbalón".

Mantener la ventilación (especialmente si se utiliza gas como combustible principal y/o auxiliar) y la iluminación (natural y eléctrica) ayuda a una vida más confortable y segura. La instalación eléctrica debe estar bien, es el lugar donde comienzan los incendios o los "choques" eléctricos (descargas eléctricas) que pueden provocar un "shock" mortal. Los equipos eléctricos deben de tener su "tierra". (conexión a tierra para descargar el voltaje inducido o accidental).

Las escaleras y pasillos, así como barandas de defensa de los mismos, es conveniente que se encuentren en buenas condiciones. Son lugares en que es posible que sea necesario andar a "oscuras" por falta de luz o la sala "llena" de vapor.

Reparar todas las pérdidas de agua y vapor (arreglando los prensas estopas de las válvulas y empaquetaduras de las bombas), dando cuenta al encargado frente a cualquier situación que no entendamos o podamos ejecutar (no intentar reparar algo que pueda provocar un daño mayor al efectuar su reparación, como ser apretar una platina o rosca con presión de vapor sin la práctica o condiciones adecuadas).

Mantener la caldera limpia (su envuelta), los protectores de nivel y su iluminación y no dejar que caiga agua o vapor sobre la caldera (se oxida la envuelta y se "pica", corrosiones muy comunes sobre las tapillas, platinas, etc.).


SALA DE CALDERAS ORDENADA

## 2-b) La rutina

La rutina: Mantener una **vigilancia permanente sobre los niveles** de agua y la **presión** (controlar los fuegos para que no se produzca mala combustión: humos o excesos de aire), **purgar los controles de nivel cada 4 horas** (una vez por lo menos con el quemador prendido para ver su "corte por bajo nivel"). **Controlar el nivel del tanque de alimentación de agua**. Purgar de fondo una vez por turno (o según se indique y de la forma que se indique), controlar el funcionamiento de la purga continua (si se utiliza). Poner los productos químicos de tratamiento interno, controlar el "ablandador" de agua y regenerarlo si es necesario. **Controlar el quemador** permanentemente, limpiando las escorias y las toberas (punteros atomizadores) cada vez que sea necesario. Controlar las temperaturas localizadas y escapes de gases que no sean normales. **Controlar el combustible**: temperaturas, presiones, cantidades mínimas (para bombear o pedir combustible), limpiar filtros y purgar el agua , agregar aditivos , etc..

**En el caso de la quema de gas** (naturales y artificiales), **mantener un control de pérdidas, tanto por medio del "olfato" (olor), como por otros medios admitidos** (detector de pérdidas, prueba de agua y jabón en las zonas de unión, etc.).

**Hacer los controles en gases de chimenea** (visuales: humo y color en llamas de combustible líquidos pesados, en leña en la quema directa el largo de llama que no pase de la mitad del hogar cilíndrico, en gasógenos y gases, controlar los valores de la composición de los gases de chimenea, oxígeno y gases no quemados o CO. **La temperatura de "humos"** (que nos puede indicar que la caldera está "sucia", pasada de "fuego" u otros problemas de combustión).

**Controlar** las temperaturas y "ruidos" de cojinetes (vibraciones anormales), amperajes y temperatura de los motores, estirar correas, pérdidas de aceites y grasas, lubricar donde sea necesario, de manera que si se produce una falla, podamos tomar acción a tiempo para hacer la reparación o avisar el encargado, quien dispondrá el cambio o la parada programada de la caldera.

**Anotar** las novedades acaecidas y las que deberá conocer el relevante para continuar la marcha. Un planilla o un cuaderno de hojas numeradas es muy eficaz al efecto (esto favorece la labor del foguista y ahorra muchos posibles "mal entendidos").

**Verificar los elementos de seguridad**, como ser las válvulas de seguridad, abriéndolas manualmente a la presión de trabajo en el momento oportuno (a baja producción de vapor), verificar los elementos auxiliares de alimentación (bombas o inyectores), purgar los grifos testigos de nivel, controlar los equipos de incendio, etc..

**No olvidemos** que cuando **arrancamos una caldera que se encuentra <u>fría</u>**, debemos revisar totalmente lo anterior y **proceder a un calentamiento tan lento como sea necesario para llegar a la presión de trabajo** (para evitar provocar daños a la estructura de la caldera, tanto el cuerpo de presión como refractarios, ya que al calentarse se producen dilataciones importantes: 1 mm. o más por metro cada 100ºC que sube la temperatura). A "grosso modo ", podríamos decir que para una caldera "chica" (500 Kg/h de vapor) no menos de 1 hora de **fuego suave**, aumentando una media hora en el tiempo de calentamiento cada 500 a 1000 Kg./h de aumento de capacidad de vapor de la caldera, dependiendo del tipo de caldera (fundamentalmente del tipo de combustible y hogar). Mantenga el grifo atmosférico abierto. Los calentamientos rápidos a la larga son más costosos debido a las reparaciones o "envejecimientos" prematuros de la caldera. El grifo atmosférico permanecerá abierto hasta lograr la presión de trabajo en que se conectará la caldera. De esta manera se calienta más parejo la masa de agua . En el caso de **calderas con sobrecalentador de vapor**, el mismo se mantendrá con circulación de vapor permanentemente tirando vapor por la descarga, no dejando que falte circulación de vapor (el mínimo necesario para que la temperatura del vapor no pase los límites fijados de antemano) ya que puede "quemarse" por alta temperatura de los tubos. Dependiendo del tipo de sobrecalentador, este se "arrancará" inundado con agua, preferiblemente condensado sin sales , ó con **circulación de vapor auxiliar** de otra caldera.

Una vez lograda la presión: **dé vapor lentamente** (calentar cañerías) y aumente la combustión en forma gradual para ir manteniendo la presión.

Controlar el tratamiento químico interno, tomar las muestras de agua y efectuar los análisis mínimos necesarios para una buena condición de vapor (vapor limpio y seco) y evitar las incrustaciones y corrosiones de caldera (los análisis mínimos normalmente son: Total de Sólidos Disueltos, PH y valores máximos y mínimos de los productos bases del tratamiento: Fosfatos, Sulfitos, etc. Mantener el agua clara: libre de sólidos en suspensión , aceites o grasas , etc.).

## 2-c) Zona de fuego

En esta zona debemos mantener la limpieza periódica según el tipo de caldera o combustible utilizado.

El F.Oíl sea pesado o de calefacción, provoca un ensuciamiento por **hollín muy aislante** (agravado si la combustión no es buena). La pérdida que ésto provoca, **aumentando la temperatura de los gases** de la chimenea (calor perdido por los gases calientes), hace necesario que la **limpieza periódica** sea **controlada por un termómetro** en la chimenea. Por medio del mismo podemos establecer un límite máximo para proceder a la limpieza de los tubos (cepillado en humo-tubulares o el soplado en acuo-tubulares). Estas **limpiezas** podrán también ser **programas** por tiempo: limpieza de las calderas humo -tubulares cada fin de semana o cada 2 semanas, etc.. Las calderas acuo-tubulares deberán ser sopladas (con vapor o aire) cada turno o cada 24 horas según se estime conveniente. Hay casos en que la temperatura de chimenea no refleja el ensuciamiento, pero sí la pérdida de carga de los gases (cuesta pasar los gases) al pasaje por la caldera, haciendo que el régimen de combustión se vea disminuido por falta de tiro.

**En las calderas a leña**, también **las cenizas que se adhieren a los tubos,** provoca un aislamiento a la transmisión de calor que en algunos casos puede ser muy importante, ya que la temperatura de los gases aumenta en estos casos y su pérdida de carga. Estos sistemas que tienden aislarse deben ser limpiados casi semanalmente (tipo gasógenos), habiendo otros casos en que la limpieza se puede prolongar por uno o dos meses (quema directa). Las cenizas también bloquean las "grillas" o "parrillas", los hogares y los intercambiadores recuperadores de calor ( de aire o agua), **provocando aislación al calor**, pero fundamentalmente una "**pérdida de carga" u obstrucción al pasaje de los gases**, faltándole tiro a la caldera (por lo que la combustión se ve limitada por falta de aire). Este fenómeno se acelera en algunos tipos de combustión y en todos cuando la leña tiene mucho % de humedad o se ha quemado con falta de aire (producido mucho CO- esto indica la expulsión de otros elementos en chimenea).

Por lo tanto las grillas y parrillas se deben tratar de mantener limpias, removiendo las mismas con los sistemas dispuestos para ello o introduciendo "barras" o caños con aire comprimido, para mover las cenizas acumuladas.

**En las calderas que queman gases, mantener el control de composición de humos, observar la temperatura de chimenea, ya que puede en determinadas condiciones provocar "hollín" que aislan las superficies de intercambio** (la que requiere inmediata limpieza y corrección del problema de combustión).

**En quemadores "duales"** (F. Oíl y gases), **mantener limpia la superficie de intercambio y la escoria que pueda haber formado en el período en que funcionó a F. Oíl** (ya que puede ser "peligroso" al pasarse nuevamente a gas, dado que puede existir un problema de encendido que provoque una explosión de hogar).

**Los recuperadores de calor** (calentadores de aire y agua) son fácilmente limpiables si se dispone de agua caliente y de un drenaje adecuado para la salida de la abundante agua que hay que disponer (esta agua puede ser la del tanque de alimentación, tratada o nó, pero caliente a más de 80ºC), pudiendo utilizar la misma bomba de alimentación (disponiendo una válvula para conexión de la manguera de alta presión), regulando la presión a 4 a 5 Kg.cm2. con un puntero de 1/2". (al utilizar el agua caliente, el recuperador

puede estar caliente, ya que el "shock" térmico es mínimo). Cuidado con las "quemaduras", disponer todos los elementos de protección.

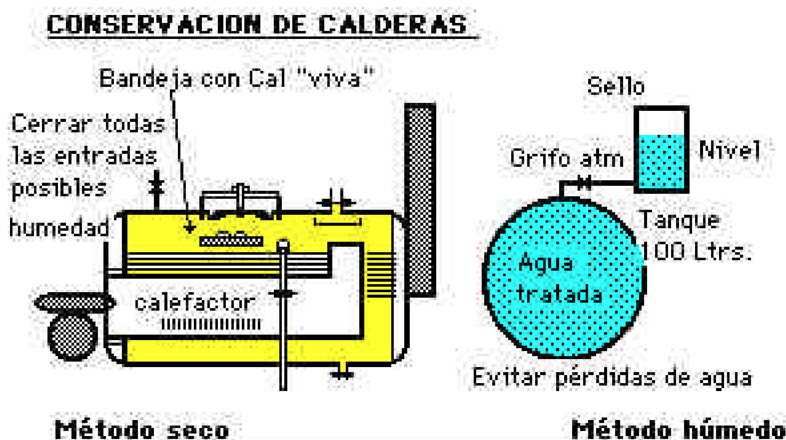
**2-d) Cuidados de la parte de agua y vapor:**

El tratamiento del agua, las purgas, etc. son de primordial importancia para lograr que las superficies internas no se incrusten o se ataquen por corrosiones.

**Las calderas** que están **paradas corren gran riesgo de corrosión** (fundamentalmente "picaduras" por oxígeno: "pitting"), ya que las mismas al perder la presión por el enfriamiento, por debajo de 100ºC empiezan a tener presión negativa (vacío por condensación del vapor) entrando aire (oxígeno) que con la temperatura y determinadas condicionantes (el uso de agua ablandada sin tratar químicamente) provoca rápidamente la corrosión del tipo "pitting" (fundamentalmente). Hay calderas que por funcionar 2 días a la semana con agua ablandada y sin tratar, se han perforado a los 3 meses de nuevas.

El agua ablandada o condensada (y la de lluvia) es de tendencia corrosiva, no debemos dejar una caldera llena de agua de este tipo sin tratar.

En otros casos al parar o por el condensado, se producen contaminaciones del agua, que provocan corrosiones que terminan perforando la caldera, a lo ya indicado por el "pitting" del oxígeno, entre estos caso están comprendidos aquellas calderas que se utilizan para la calefacción de agua de piscinas (por intercambiadores), que al estar cloradas, el cloro al penetrar en la caldera y en las condiciones internas, se provoca un "pitting" similar al oxígeno, pero de mayor efecto todavía.




**Las calderas al parar**, se traten o no sus aguas, **deben ser inundadas** con agua, dejando un sello de agua (para evitar la entrada de aire y mantener el nivel fluctuante por los cambios de temperatura de la caldera) conectada al grifo atmosférico y todas las demás válvulas cerradas.(El sello, un tanque de 20-100 Ltrs. de plástico debe siempre mantenerse lleno hasta la mitad). Evitar que las válvulas pierdan y se deba de rellenar, como así que la presión de vapor de otra caldera nos "llene" permanentemente con condensado a la caldera parada (pérdidas de las válvulas o falta de retención en el vapor).

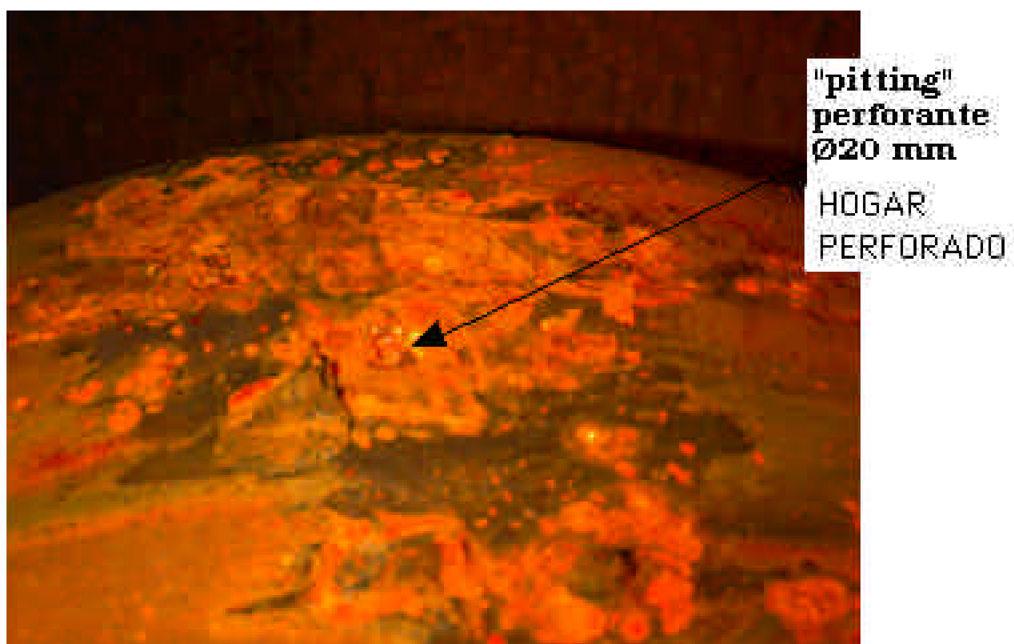
**Es muy importante**: mantener la caldera **parada inundada** o **totalmente seca** (seca sin nada de humedad, con estufas o elementos deshidratantes en su interior, cal viva o silicagel, ! cuidado con la cal que no toque el metal de la caldera, es corrosiva ¡ ). Las calderas secas deberán estar cerradas para evitar la entrada de humedad en el caso que no mantenga estufas para elevar su temperatura por encima de la ambiente (preferiblemente platinadas).

Las calderas paradas deben ser controladas para mantener las condiciones o valores deseados periódicamente (cada 15 días a un mes).

**Las calderas en funcionamiento deben ser abiertas, vaciadas y manguereadas 1 a 2 veces al año, limpiando** los **controles de nivel y cañerías asociadas**, revisar controles de presión y sus "colas de chancho", las válvulas de purgas, etc. . Aprovechando la ocasión para efectuar una inspección visual, para **evaluar la marcha del tratamiento químico,** observando la presencia de incrustaciones o barros, corrosiones, etc. .(Esto nos permitirá parar a tiempo cualquier error en el tratamiento). **Cambiar el tapón fusible** (no rellenarlo el usuario) cumpliendo con la reglamentación.

**El tratamiento no se trata de "productos mágicos", es el mérito del "foguista"** que cumple con el mismo, la **calidad de los productos** a utilizar y la **guía del técnico** que dirige el tratamiento. (No olvidar que **el técnico que dirige el tratamiento** está ocasionalmente con la caldera. Por lo tanto la **información que este técnico sepa transmitir** al "foguista" es de primordial importancia, ya que quien ejecutará el tratamiento será el "foguista" y solo él estará en las emergencias, actuando e informando a los encargados de la planta).

CALDERA CON CORROSION TIPO "PITTING"
CONTAMINACION CON AGUA DE PISCINA
(caldera nueva con menos 1 año)



**Es aconsejable que cada tantos años o cuando sea necesario**, se haga una "limpieza química". Esta limpieza química **debe ser conducida por una persona idónea**, ya que la misma es una **operación que tiene sus riesgos** y que puede **provocar un "envejecimiento " del material** de la caldera (especialmente en los tubos) o **corrosión**. Hay materiales que no soportan determinados ácidos y los ácidos mejores para estos usos deben ser usados con un criterio adecuado. **La experiencia del técnico idóneo es fundamental, no sólo por la posibilidad de corrosión incontrolada o el fracaso de la limpieza, sino por el riesgo, puede llegar a producirse una "explosión por hidrógeno". ( la utilización de ácido sobre metales provoca el desprendimiento de hidrógeno que mezclado con aire (oxígeno) es muy explosivo).**

Pero si las cosas se hacen bien, no hay que temer a efectuar la limpieza química, ya que una caldera que esta incrustada (con incrustaciones duras o barrosas) no sólo pierde rendimiento, sino que corre gran riesgo de "quemarse", aflojarse los tubos sobre los mandriles o fisurarse las placas , lo cual pasa a ser un peligro permanente.

**Después de la limpieza química**, hay que **neutralizar**, **pasivar** y **limpiar mecánicamente** (manguereado y cepillado si es posible) toda la superficie interna de la caldera. Sacar todas las "cáscaras" de incrustaciones, barros, etc. Para ello sacar todas las "tapillas" de limpieza de domos y colectores. (Las "cáscaras" pueden provocar problemas en la circulación del agua y en las válvulas de fondo). **Inspeccionar visualmente** y luego efectuar una **prueba hidráulica** (tomando las precauciones para ello).

**No es conveniente intentar un tratamiento químico interno sin el conocimiento del estado en que se encuentra las superficie interna de la caldera**. Si bien los tratamientos químicos internos son para evitar la incrustación y la corrosión, no para limpiar la caldera, éstos actúan limpiando parcialmente y "desprendiendo cáscaras" de incrustaciones que provocan el corte de la circulación natural del agua, produciendo recalentamientos locales que pueden "quemar" la caldera o bloqueos al sistema de seguridad , purgas , etc..

Ante la posibilidad de **desprendimiento de incrustaciones** o barros es aconsejable inspeccionar y "manguerear" (con limpieza de "fondos") la caldera en períodos tan cortos como sea necesario. Lo correcto frente a este temor es hacer una limpieza química. La eficiencia y la capacidad máxima de producción de vapor están afectadas por el estado interno de las superficies de transferencia: **la limpieza se paga por si misma**.

**LAS CALDERAS PARADAS , también deben ser conservadas exteriormente** (lado gases). Si es una caldera que se para por períodos mayores al mes o en los meses de invierno, dependiendo del tipo de caldera y combustible, **dado la presencia de cenizas y refractarios cotaminados con elementos corrosivos, para tratar de sacar estos,** en algunos casos podrán lavarse con **agua alcalinizada** (un poco de soda en agua limpia y caliente, no intentar hacer con cal, ya que esta es corrosiva para el hierro en presencia de humedad), **pero deben ser secadas con fuego indirecto** (eléctrico o vapor exterior)**, ya que el prender llamas en el interior de la caldera "mojada" se producen corrosiones. El lavado debe ser inmediatamente secado, evitando mantener la caldera "mojada". El tiempo de secado es muy importante, lleva semanas y no días, ya que el agua ha penetrado en el interior de los refractarios y es difícil de secar.**

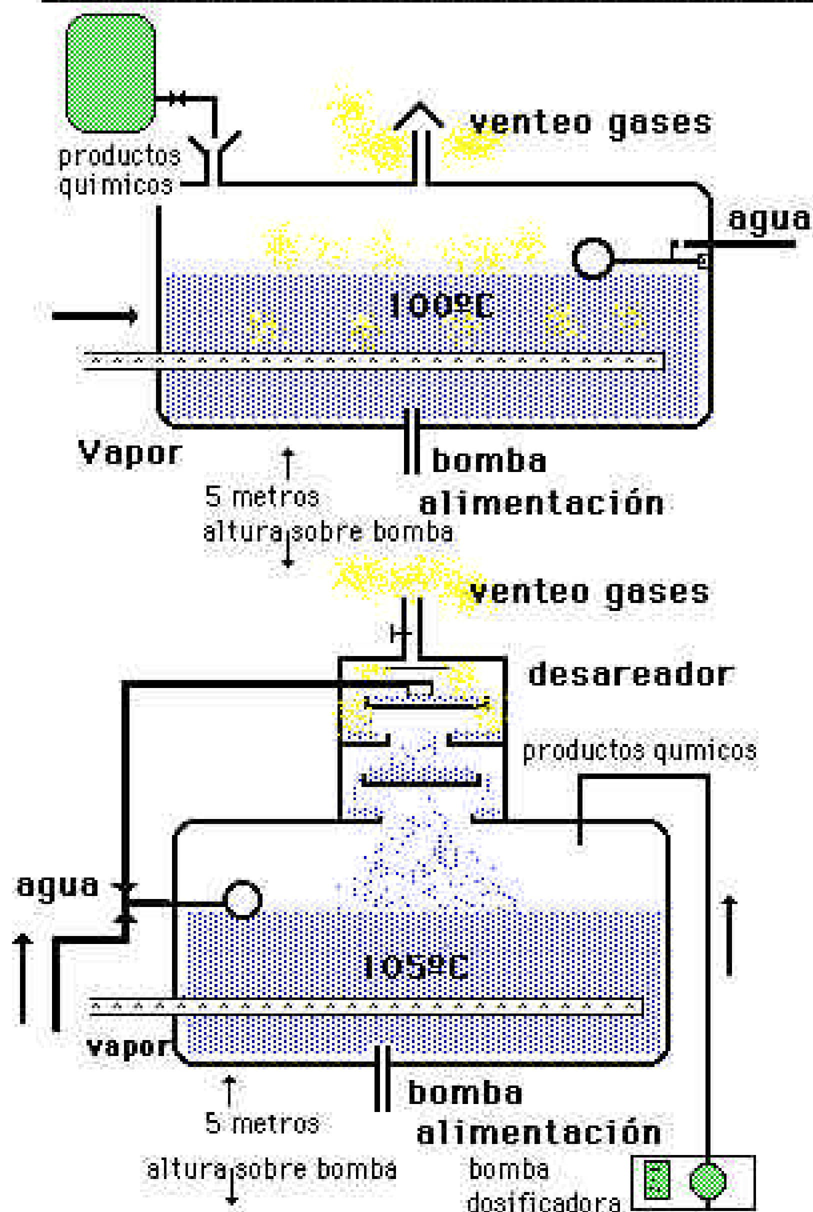
La temperatura de la caldera debe elevarse a unos 80ºC- 100ºC durante varios días, en forma rápida (luego de un rápido lavado), ya que siempre habrá corrosión si hay humedad o agua del propio lavado (podrá ser con la caldera vacía, aire caliente o inundada con **agua tratada**).

**En caso que sean meses de invierno** (de calderas expuestas al clima), **es necesario mantener una temperatura de unos grados ºC por la temperatura del bulbo húmedo** (en forma permanente), **con fuego indirecto** (eléctrico o vapor externo, nunca introduciendo vapor en el interior de la caldera, ya que el vapor al condensarse es corrosivo, aunque tengamos productos químicos de conserva).

Una técnica podría ser la circulación del agua de la propia caldera, por un calentador exterior o una caldereta de calefacción, de manera que sea siempre la misma agua tratada de la caldera, **sin entrar en contacto con aire o perder agua** (bajo ningún concepto).

**Una de las causas más comunes de corrosión en las calderas paradas**, es la pérdida de las válvulas de cuello y del distribuidor de vapor, que hace que penetre vapor de las calderas en funcionamiento (este vapor al condensarse en la parte superior de la caldera, será causas de corrosión al desplazar el agua tratada por un condensado corrosivo). También la condensación del agua de los techos o la entrada de agua de lluvia por la parte externa, es muy perjudicial.

Para evitar la entrada de aire húmedo en el interior del hogar de la caldera, un vez seca y con cierta calefacción de conserva, **cerrar todas las entradas de aire y especialmente disponer un "bonete" de lona o chapa, para tapar la chimenea.** En algunas calderas, no solamente el "tiro" que provoca la chimenea hace entrar humedad a la caldera, sino que por la propia chimenea entra agua de lluvia o se invierte el tiro al estar la caldera más fría que el ambiente (y con ello entra humedad).




**DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS**

Es evidente que la dosificación de productos químicos para el tratamiento químico interno de la caldera, por lo general es más efectivo en forma de una **dosificación continua**, que ponerlo por "bache" (de golpe). Muchas veces **el intentar poner todo el producto químico para las 24 horas** de una sola vez en el tanque de alimentación, causa un perjuicio muy grande, ya que se pueden dar las condiciones de un exceso que altere las **condiciones tenso-activas del agua**, **provocando "arrastres" o lo que es peor un "priming"** (un arrastre masivo de agua que deja las superficies de intercambio sin refrigeración y que es capas de provocar un golpe de ariete en las líneas de vapor).

También debe ser contemplado **si los productos químicos no provocan daños en el sistema de bombas de alimentación** (abrasión por precipitados, ataques a los bronces de las bombas, ataques a los sellos mecánicos, etc., ya que la abrasión es la acumulación de efectos mecánicos y químicos). Por ejemplo: el uso de fosfato trisódico en el tanque de alimentación puede afectar a las bombas, ya que su precipitado con la dureza del agua puede generar erosión (por lo general en alta presión se inyecta directamente al domo de la caldera con una bomba dosificadora de alta presión), o la introducción de elementos que contengan amoníaco en forma masiva pueden afectar los bronces de las bombas (especialmente los aros de desgaste y los rodetes de bronce). La utilización de polifosfatos es más aconsejable para evitar el uso de los orto-fosfatos (fosfato trisódico, disódico, etc), ya que los mismos no precipitan como orto-fostatos hasta estar en el interior de la caldera.

**Las bombas dosificadoras,** pueden ser del tipo mecánico de desplazamiento variable (accionamiento mecánico de un émbolo o diafragma) o del tipo peristáltico magnético (el uso de un electro-imán accionado por un circuito electrónico que acciona un campo magnético de frecuencia variable en un bobina y el electro-imán acciona un diafragma, la frecuencia hace la variación de volumen dado los golpes por minuto). Ambos sistemas de bombeo, tienen válvulas de control de sentido de flujo, succión y escape, que tienden a "taparse" por depósitos **si no se utiliza agua blanda para disolver los productos químicos**. Los productos químicos disueltos, deben ser mantenidos homogéneos por medio de un agitador y deben ser introducidos, previamente disueltos, cocinados , etc. por medio de un embudo con filtro , para evitar el ensuciamiento del filtro de la bomba o de las válvulas.

Cuando se utilizan productos secuestrantes de oxígeno, se debe tener en cuenta que la permanencia de un agitador en forma continua puede ser contraproducente, dado la introducción de aire (oxígeno en el seno de la solución) que disminuye la acción del secuestrante en el interior de la caldera (por haber sido consumido).

Es una buen práctica, una vez al mes, proceder a una limpieza química de la bomba, su filtro de succión y sistema, con la utilización de ácido clorhídrico al 5% en un circuito cerrado durante unos minutos y luego un buen enjuague con agua limpia (cuidando que no vaya solución ácida a la caldera).

Por lo general, es conveniente que cada turno prepare su producto en el tanque de la bomba dosificadora, limpiando periódicamente el tanque de depósitos que se puedan asentar en la parte inferior del tanque.

**Las bombas dosificadoras no deben funcionar sin solución de productos en el tanque, ya que si anda en seco, se estropean los diafragmas o los émbolos.**

Por lo que conviene que tengan un flotador de mínimo nivel, que pare la bomba cuando ya no queda solución de bombeo que sumerja el filtro.

**El tanque debe ser de material inerte** (plástico industrial, acero inoxidable, etc.) de fácil limpieza.

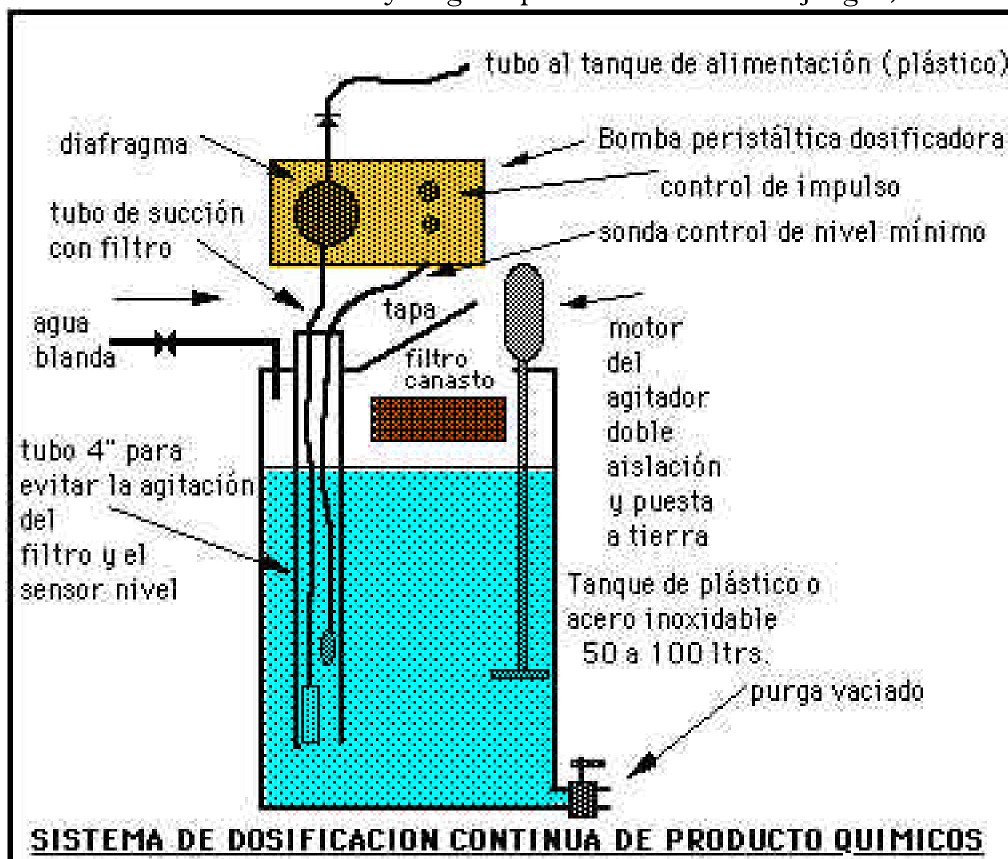
El agitador debe ser mecánico, ya que si se agita con aire, se introduce oxígeno en el sistema (el oxígeno lo debemos de eliminar en todo momento). En cuanto a la agitación, conviene que no sea permanente, esto provoca la introducción de aire en el seno de la solución (con el mismo problema que agitar con aire).

**En el croquis página de la siguiente**, hemos dibujado un sistema de dosificación continua con una bomba peristáltica de control electrónico, en la cual hemos detallado algunos elementos para evitar problemas de mantenimiento y marcha : tanque generoso, tapa que abra la mitad del tanque, tanto para poner los productos a través de un filtro de malla, como para poder limpiar fácilmente el interior del tanque.Un tubo de material inerte al producto (de 4"), contenedor del tubo de plástico de succión y la sonda para evitar que

la bomba funcione sin solución (en vacío), **de manera de evitar la agitación y enredo con el revolvedor**. Una purga de vaciado y **una alimentación de agua blanda** (de lo contrario de incrusta el filtro y las válvulas de la bomba o la decantación que pueda formarse tapa rápidamente el filtro). El tanque no debe ser atacado por los productos químicos.

**La experiencia indica, que cada turno debe preparar su dosificación, de manera de repartir las responsabilidades, haciendo un adecuado preparado de los productos químicos** (pre-disolver, calentar si es necesario, filtrar al poner, etc.).

Estas bombas y su sistema de succión, conviene que sean lavadas, periódicamente, con una solución de ácido clorhídrico al 3% al 5% durante unos minutos y luego un buen enjuague antes de poner en servicio (se puede establecer un circuito entre un recipiente de plástico (5 ltrs) en que se introduce la succión y la descarga de la bomba, se prende la bomba durante 10 a 20 minutos y luego se procede a un buen enjuague).




**Aunque para la dosificación de corrección en forma de "shock", lo conveniente es disponer de una válvula en el tapón del filtro de la bomba de alimentación** (de manera de succionar desde un balde con productos químicos disueltos para ser introducido en forma de "bache" o "shock" para correcciones instantáneas o la introducción de productos de conservación con la caldera parada o pronta a parar, aunque si está parada conviene vaporizar un poco).

## TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DE CALDERA:

**El agua de caldera para analizar debe ser representativa del agua en el interior de la caldera**. Considero que el agua de las purgas no es la más adecuada, ya que contiene barros que interfieren con el resultado de los análisis, los controles serán sobre las sales disueltas (PH, T.S.D., alcalinidades, cloruros, fosfatos, sulfitos, etc.). Aunque también se observará los sólidos en suspensión.

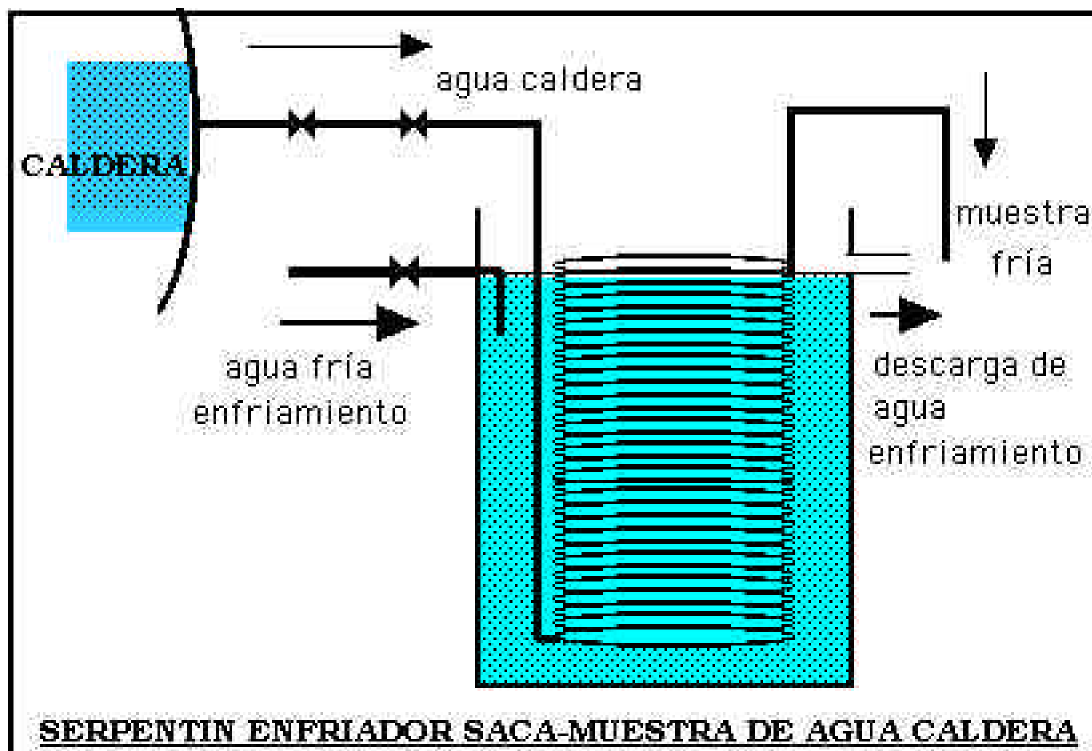
Plantearemos el caso de calderas de baja (hasta 15 kg/cm2). En estos casos, el agua de extracción de la purga continua puede ser adecuada, siempre y cuando la purga tenga un recuperador de calor, de manera que no se produzca vapor de "flash", ya que si hay vapor de "flash" habrá una concentración de la muestra tomada, que falseará el resultado de los análisis. Si la purga continua no tuviera recuperador de calor, conviene tener una enfriador (serpentín refrigerado) para enfriar la muestra por debajo de 100ºC, de manera que la muestra no se concentre, tomándola de la purga continua, ya que las calderas de baja por lo general no tienen una conexión directa para la toma de muestras. Cuando no hay un enfriador de saca-muestras, por alternativa, se puede sacar la muestra del grifo más bajo-agua- de emergencia en la columna de nivel, previa purga del control de nivel (en este caso habrá que considerar que hay una concentración de la muestra de acuerdo a la presión de trabajo de la caldera, que en 10 Kg/cm2 podemos estimar en un 12% de evaporación).

Así como enfriar la muestra en un serpentín, es muy importante que la muestra sea puesta en una "botella" de plástico, luego bien tapada, que no entre aire, no alterable por la temperatura (algunas de plástico son adecuada, teniendo cuidado si se usan de metal-inox-, que la presión que se pueda generar no sea causa de una quemadura o se aplaste al enfriarse, ya que en el caso del "plástico" solo se "hinchará" y al enfriarse solo encogerá, adaptándose al líquido interno).

Esta muestra debe ser enfriada a la temperatura ambiente, analizada lo antes posible, así evitamos la alteración de los valores químicos (por contacto con el aire).

Hacer correr el agua de muestra por el serpentín, previo de abrir el agua de enfriamiento o llenar el recipiente del agua de enfriamiento, enjuagar varias veces la "botella" que contendrá la muestra, una vez llena, cerrar con la tapa en forma hermética la "botella" y poner a enfriar en un recipiente o "debajo de la canilla", cuidando que no entre agua externa, ya que al enfriar la "botella" se producirá un "vacío" que puede provocar la entrada de agua o aire (la ventaja de la "botella" de plástico, será que se encogerá y el vacío será mínimo).

El serpentín puede ser una caño de inoxidable o de cobre, de 1/4" hasta 3/8", en general es suficiente un diámetro de 150 mm a 200 mm de cada vuelta, alcanzando en general con unas 15 a 20 vueltas, poniendo una válvula de corte contra la caldera y una válvula de globo para regular el caudal de la muestra a un valor que el serpentín pueda enfriar.




## 3-Inspecciones:

**La caldera debe ser inspeccionada interiormente una o dos veces al año.** Estas inspecciones permitirán ver las incrustaciones, barros y corrosiones. **Deben ser inspeccionadas** todas aquellas partes interiores que están sometidas a **esfuerzos mecánicos de tensión** (soldaduras, stays, entradas y salidas de fluidos, etc.) y **de presión** (placas, envueltas, tubos, etc). Los "**stays**" (estayes) tienden a **corroerse** en la soldadura de la zona más caliente (debido al diferencial térmico).

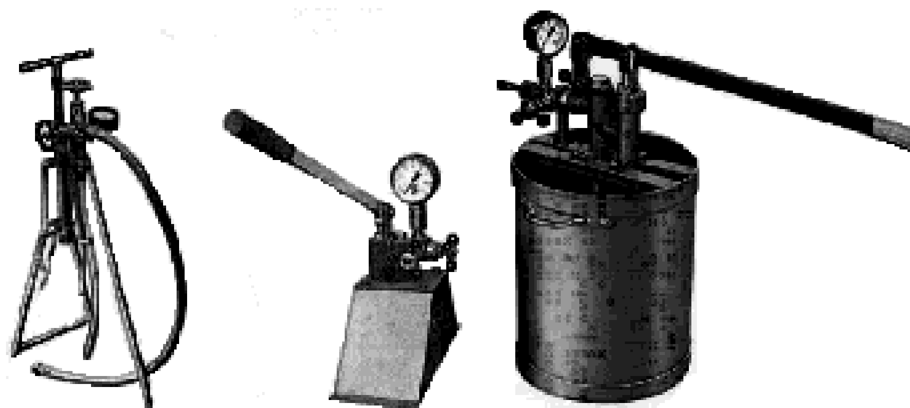
Las zonas de vapor pueden llegar a corroerse especialmente en los tiempos de paradas (quedan las calderas llenas hasta el nivel normal, entrando aire que su oxígeno actúa atacando el metal húmedo por la condensación parcial).

Normalmente se "pican" los tubos por "pitting" ( perforación por oxígeno al quedar las caldera paradas sin tratamiento adecuado).

Las calderas de que se utilizan para calentar piscinas, corren gran riesgo de corrosión si se contaminan con agua de piscina (el ion cloruro ataca el metal al igual que el oxígeno), lo cual es muy aconsejable hacer controles químicos y visuales internos de la caldera, tan frecuentes como la duda de que los intercambiadores de las piscinas tienden a tener pérdidas en poco tiempo.

La utilización de hipoclorito en el agua que alimenta la caldera es una fuente de corrosión, tanto en frío como en caliente, se debe eliminar el cloro por medio de filtros de carbón activado o por medio de "secuestro"

por sulfitos de sodio en exceso en el tanque de alimentación y la caldera.



**BOMBAS DE MANO PARA PRUEBAS HIDRÁULICAS**

## Pruebas hidráulicas:

Debemos de tomar como **definición que prueba hidráulica** significa **llenar totalmente la caldera con agua fría**, **sacando el aire** de su interior por el grifo atmosférico y procediendo **inyectar agua a presión lentamente hasta una determinada presión (que debe ser pensada de antemano y que los manómetros utilizados sean muy precisos)**. Esta presión mientras esté por debajo de la presión de "timbre" (presión máxima de diseño a la cual debe abrir la última válvula de seguridad), no perjudica a la caldera. Pero si aumentamos la presión por encima de la presión máxima de diseño, el material de la caldera lo estamos sometiendo a un "estiramiento elástico" dentro de una zona en que dicho estiramiento es reversible (retorno a su forma original una vez eliminada la presión), pero esta "deformación" elástica podrá ser permanente si nos pasamos de la presión máxima admisible o si dejamos a la caldera con presión un tiempo demasiado largo (si dejamos un resorte comprimido largo tiempo este no recuperará su forma original).

De aquí debemos **sacar la conclusión**, de **no efectuar pruebas hidráulicas con presiones elevadas innecesariamente** (hasta 1-1/2 vez la presión de diseño en la mayoría de los casos para prueba de **resistencia** y **estanqueidad**). Y para aquellos casos en que deseamos solamente saber la estanqueidad : que no haya pérdidas del cuerpo de presión (o válvulas, niveles, etc.) **es suficiente levantar la presión hasta la presión de trabajo normal.** A esta **prueba hidráulica** la podemos llamar de **estanqueidad** y la podremos hacer tantas veces como sea necesario (siempre en forma lenta las variaciones de presión).

La **prueba hidráulica de resistencia** obliga a **platinar** todas las salidas y entradas de agua y vapor, **desconectar** todos los controles que puedan ser afectados por la alta presión y utilizar una **bomba** de **mano** (o **neumática** o **eléctrica** de **desplazamiento positivo con válvula de alivio**) **para pruebas hidráulicas, llenando la caldera con agua fría (a temperatura ambiente**, en general no menos de 25ºC, con la caldera también a temperatura ambiente (menos de 50ºC ), para evitar lo más posible las variaciones del manómetro patrón debidas a las variaciones de presión provocadas por el cambio de temperatura del agua en el interior de la caldera o de la propia caldera, que provoca un

cambio de volumen que repercute en la presión como una variación de la misma, según suba o baje la temperatura (debido a la diferencia del coeficiente de dilatación del agua y el metal de la caldera, algo que todos estamos acostumbrados a ver cuando prendemos la caldera con agua fría y con el nivel normal, vemos que a medida que aumenta la temperatura el agua dilata más y sube el nivel en forma muy importante, y que con muy pequeñas variaciones de temperatura provocada por las corrientes aire en la sala de calderas, muchas veces provocadas por el propio "tiro natural" de la chimenea de la propia caldera, que según tome aire caliente o frío puede alterar la lectura del manómetro si demoramos la prueba más allá de lo necesario), **previamente sacando el aire totalmente por el grifo atmosférico y luego levantando presión con la bomba en forma suave y controlada,** en forma escalonada a partir de una determinada presión**. Cuidando la presión máxima y que el manómetro sea correcto, ya que no habrá limitación a la presión máxima, salvo la establecida y controlada por el manómetro**

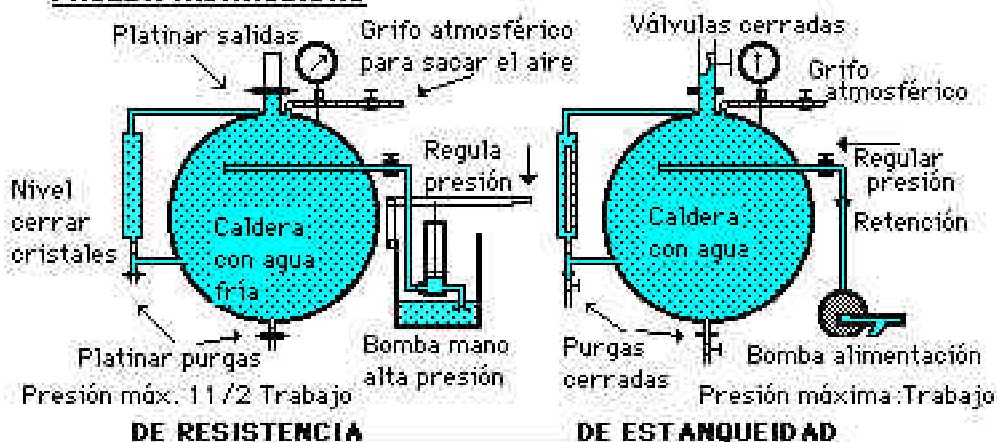
**Terminada la prueba de presión, bajar lentamente la presión, para evitar deformaciones estructurales.** Luego de la prueba es aconsejable cambiar las juntas de entradas de hombre, cabeza y mano, especialmente para el caso de muy altas presiones. (ya que las juntas tienden a perder su elasticidad, debido a la deformación permanente por el aplastamiento sufrido).

**ANTES DE LEVANTAR PRESIÓN SE DEBE ASEGURAR QUE NO HAYA QUEDADO NADA DE AIRE ATRAPADO EN EL INTERIOR DE LA CALDERA, ESTO NO SOLO DARÁ UNA FALSA LECTURA DEL MANÓMETRO, SINO QUE SI SE PRODUCE UNA ROTURA EL EFECTO ELÁSTICO DEL AIRE PUEDE PROVOCAR LA EXPANSIÓN DEL AGUA O DE PARTE DE LA CALDERA, SIENDO ESTO MUY PELIGROSO.**

La **prueba hidráulica de estanqueidad** simplemente obliga a sacar el aire por el grifo atmosférico, alimentando con la misma bomba de alimentación aún con agua que esté más caliente que lo normal (siempre que esté sin presión de vapor) hasta la presión de trabajo, regulando la presión con la entrada de alimentación de la caldera o prendiendo y apagando la bomba (la presión no subirá más allá que las de regulación de las válvulas de seguridad). La caldera con esta presión se puede dejar todo el tiempo necesario para inspeccionar pérdidas o hacer ajustes, ya que se está dentro del rango de presión de habilitada para trabajar la caldera.

La **prueba hidráulica** para probar la **resistencia** del cuerpo de la caldera, **somete la misma a grandes tensiones**, las cuales si son dejadas por un **tiempo imprudente o variadas en forma rápida**, pueden **provocar deformaciones permanentes o fatigas**, que serán las causas futuras de posibles accidentes por falla de la estructura del cuerpo de presión.

Debido a los conceptos anteriores, antes de hacer la prueba hidráulica de resistencia, por su importancia: determinar la presión máxima de prueba, comparar el manómetro de prueba con una manómetro patrón, verificar que las válvula para extraer el aire así lo haga totalmente, tener la caldera limpia interior y exteriormente, platinar adecuadamente, despejar los puntos a observar, etc..




Como guía las **presiones máximas aconsejables** para la **prueba hidráulica de resistencia** por algunos de los códigos son (aunque en Uruguay , toma el código ASME, que es **11/2** vez la **presión de diseño**: o sea **máxima presión permitida de trabajo**).

Otra norma, aconseja la utilización de los siguientes valores, que parecen más adecuado (ya que pensar que una caldera de 1 kg/cm2 de presión no parece "razonable" que se prueba a 1,5 Kg/cm2). La siguiente norma se aplica en algunas marinas, en donde un accidente de caldera puede ser catastrófico).

**1- En calderas autorizadas hasta 6.5 Kg/cm2 presión de trabajo, se puede doblar la presión al efectuar la prueba.**

**2- En calderas autorizadas 6,5 Kg/cm2 y 13 Kg/cm2, la presión de prueba puede ser hasta 6,5 Kg/cm2 mayor que la presión autorizada.**

**3- En calderas autorizadas a más de 13 Kg/cm2 la presión de prueba es de 11/2 vez (una vez y media) la presión de trabajo.**

**Se puede establecer en general que la presión de prueba es 1-1/2 vez la presión de trabajo máxima autorizada**, teniendo en cuenta que las calderas de muy baja presión y las de alta presión están condicionadas a valores distintos. (Los inspectores decidirán la presión de prueba en las pruebas oficiales).

**No debemos abusar de la pruebas hidráulicas de resistencia** (ya que al efectuar pruebas hidráulicas de resistencia en forma reiteradas provocamos un envejecimiento del material: fatiga, por lo que es conveniente que sea supervisada por un técnico idóneo en calderas). **Suba y baje las presiones lentamente**. Asegurarse que **a medida que suba la presión no se produzcan deformación anormales** (no seguir subiendo la presión al notarse una deformación o un ruido anormal: investigar, cuidando de haber sacado bien el aire; o en caso de deformación se parará la prueba, disminuyendo la presión). Si es necesario, disponer de antemano elementos de medición en aquellos lugares "dudosos": alambres de acero calibrados, flexímetros, etc..

No deje que la presión máxima sea mantenida más del tiempo necesario para la inspección ocular, medidas de deformación o variación del manómetro.

**No intente establecer una presión mayor de prueba hidráulica que la indicada** en cada caso, esto debilita a la caldera en alguna zona, pudiendo ser esta la causa de una falla futura.

**Tome precauciones** de seguridad al hacer una prueba hidráulica. La rotura de una

parte de la caldera o la perforación espontanea de una envuelta, tapilla, conexión, etc. puede provocar **un accidente grave** al proyectar parte de metal o agua a alta presión (si bien no habrá expansión debido a que no hay aire, siempre habrá una presión dinámica por el estiramiento elástico de la caldera al someterla a presión). La antigua "**prueba del martillo**" prácticamente no se usa (golpear con un martillo de bola en la zona dudosa para desencadenar la "rotura" forzada si el material se ve sospechoso, con la caldera sometida a la presión hidráulica de prueba, es una técnica no aconsejable, salvo que la persona disponga una gran experiencia en el tema).

**Una prueba hidráulica no es un "seguro de salud"** para una caldera. (una caldera sometida a una prueba hidráulica de resistencia puede a los pocos días de marcha sufrir una avería: como la perforación de una zona debilitada por la corrosión. Quizás la explicación a esto se deba que la caldera sometida a presión en caliente soporte esfuerzos distintos a los que actúan con la caldera fría, o a que las incrustaciones mantuvieron la estanqueidad en frío y luego en caliente se desprendieron con los movimientos térmicos o el propio tratamiento químico, etc.)

**La inspección visual, las medidas e inspecciones con equipos** (medidas de espesores, radiografías, ultrasonido, etc.) son muy importantes, pero quizás **más importante es la experiencia del técnico** que está haciendo la evaluación.

Recordemos que la caldera es semejante a un motor de un avión, si tienen un accidente es muy difícil predecir de que magnitud será y cuando será exactamente, por eso: **deben respetarse los períodos de mantenimiento e inspección**.

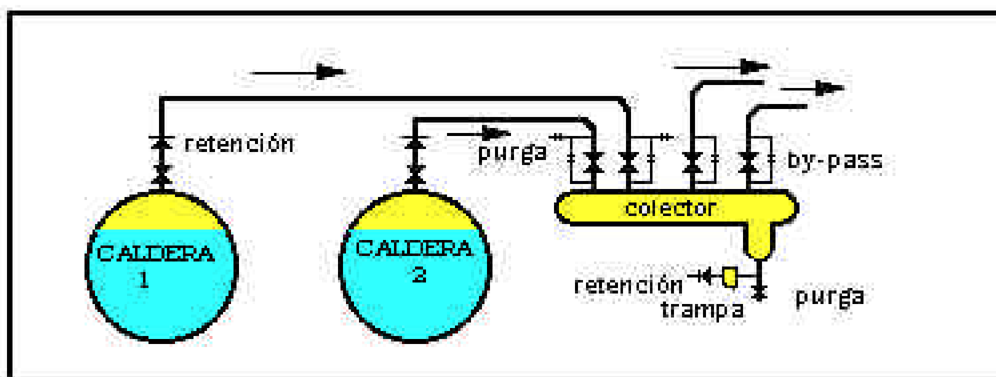
Ver capitulo de Fallas de estructura más adelante como guía de inspecciones visuales.

## 8-INSTALACION DE VAPOR

Las **válvulas de "cuello"** (o de salida de vapor de las calderas), cuando las calderas están conectadas a distribuidores de vapor (colectores), que pueden tener válvulas al conectarse al colector distribuidor, por haber otras calderas operando, deben tener **una válvula de purga de pequeña dimensión** para **mantener la cañería vacía de agua**, ya que si ambas válvulas están cerradas y la cañería por alguna razón está llena de agua (por pérdida de las válvulas), **esta agua al calentar puede dilatar y provocar una presión hidráulica** de tal magnitud, que puede hacer "reventar" el cuerpo de la válvula de cuello o la del colector (todas las válvulas de colectores de gran dimensión deben de llevar además una válvula de by-pass -o sea en paralelo- de pequeña dimensión que se abrirá primero y cerrará por último, calentando o drenando para evitar esfuerzos térmicos, que puedan dañar a la válvula de mayor porte).

**Cuando hay varias calderas conectadas en paralelo** (o sea al mismo

colector), es conveniente que cada caldera, tenga **una válvula de retención** (esto permite que cada caldera mantenga su presión interna, especialmente en el caso que la presión baje, además si hay una pérdida o rotura del cuerpo de presión, no se agrave el accidente al entrar vapor de las otras calderas conectadas).




El vapor es llevado por cañerías a los lugares donde será utilizado. La **dimensión o capacidad** de la cañería para llevar determinada cantidad de vapor, definida como los **Kg. de vapor hora,** esta dada para **cada presión y calidad del vapor** (saturado o sobrecalentado a determinada temperatura). Esta **capacidad** está **limitada por la velocidad** máxima del vapor en el interior de la cañería de acuerdo a este vapor, al tipo de servicio prestado y a la presión disponible para perder en la misma (pérdida de carga) y aún al "ruido" tolerable por esta circulación.

El **vapor** para que no afecte a las cañerías y a sus accesorios **debe estar seco** (sin "gotitas" de agua, que se irán formando, si el vapor es saturado, al enfriarse por las pérdidas de calor de las cañerías. Estas gotitas son como "balines o perdigones" que van a alta velocidad a "chocar" con los metales u otros materiales, provocando la "erosión" o "ralladura" de los mismos, como una corrosión mecánica). Por lo tanto, **se debe de aislar** las cañerías para evitar la pérdida de calor y la condensación del vapor (es hasta conveniente "aislar" los elementos que sostienen las cañerías en su lugar, poniendo soportes que se puedan aislar total o parcialmente para evitar los "puentes térmicos", también las platinas, bridas o válvulas, **se deben aislar**, ya que por su gran superficie expuestas pierden mucho calor, en las cuales se pueden instalar "mantas" aislantes desmontables para la reparación de las platinas), además se debe de **ir** "**secando**" (sacando el agua) por medio de **separadores de agua** con trampas de vapor. Las **cañerías** siempre deben ir **con caída** en el **mismo sentido** que circula el vapor, de manera de **evitar** que se formen "**bolsas**" **de agua**, que si llegan a ser "arrastradas" por la alta velocidad del vapor,

en vez de "balines", serán un "cañonazo" o "**golpe de ariete**" que provocará un daño enorme al chocar contra la misma cañería al fin de la línea o un equipo (provocando accidentes graves en algunos casos).

Lo más importante de la aislación, al cabo del tiempo, es el ahorro de combustible, que por año de pérdidas puede ser de un valor muy alto (por ejemplo: una **cañería de 3" sin aislar** y de **1 metro de largo**, con **vapor a 10 Kg/cm2**, en **un ambiente con temperatura promedio de 20ºC,** expuesta en un lugar sin vientos o aire forzado, **durante un año**, puede llegar a producir **una pérdida anual equivalente a más de 500 Ltrs. de F. Oíl**, si hay vientos o corrientes de aire, esta pérdida aumenta). La falta de aislación, además, "achica" las calderas, dado que es una producción de vapor innecesaria si se aisla.

**Veamos una tabla de pérdidas por falta de aislación**, en una superficie **plana**, de **hierro oscuro** (emisividad E= 1), en un ambiente a 21ºC, sin "viento" (sin corrientes de aire).

| Superficie hierro caliente<br>Temperatura en ºC | Diferencia temperatura<br>Dif. ºC (entre hierro y el ambiente) | Pérdida<br>Kcal/m2/h |
|---|---|---|
| 38 | 17 | 135 |
| 93 | 72 | 799 |
| 149 | 128 | 1772 |
| 204 | 183 | 3103 |
| 260 | 239 | 4895 |
| 316 | 295 | 7227 |

Una tabla similar, se podría establecer para caños desnudos, cuya pérdida por metro lineal dependerá del diámetro y temperatura interna del fluido que transporta, que por ejemplo, si consideramos las condiciones anteriores, tendríamos:

| Caño nominal | Dif. temperatura ºC | Pérdida Kcal/m/h |
|---|---|---|
| Caño 1/2" | 93ºC | 61,9 " |
| " | 149ºC | 136 " |
| Caño 3/4"` | 93ºC | 76 " |
| " | 149ºC | 169 " |
| Caño 1" | 93ºC | 93 " |
| " | 149ºC | 206 " |
| Caño 2" | 93ºC | 161 " |
| " | 149ºC | 356 " |
| Caño 3" | 93ºC | 231 " |
| " | 149ºC | 511 " |
| Etc. | | |

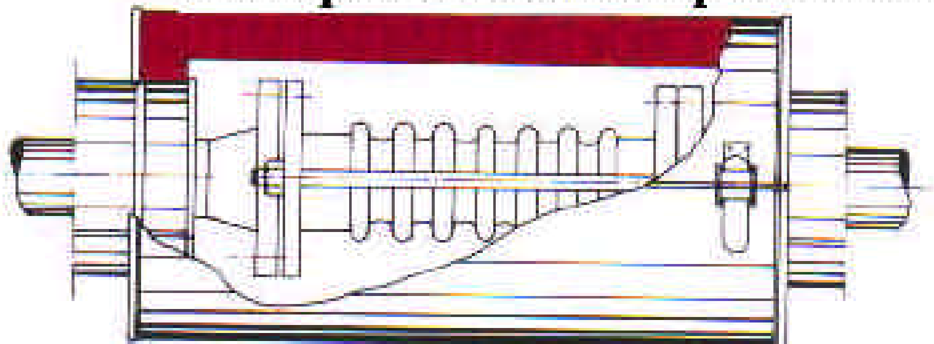
Como se ve en las tablas anteriores, la importancia de aislar, para evitar la pérdida de calor y la condensación del vapor saturado (en la

última lectura, del caño de 3", si tomamos la diferencia de temperatura en 149ºC, cuyo vapor interno puede ser un vapor de unos 8 Kg/cm2, veremos que estamos condensando casi 1 Kg. de vapor por hora y por metro lineal de caño sin aislar, cuando la temperatura externa es de 21ºC y no está sometida a corrientes de aire, si lo estuviera aumentaría la pérdida) **esto es una muy importante pérdida y un inconveniente condensado que provoca problemas de todo tipo:** molesta la regulación y provoca erosión en los asientos de las válvulas reguladoras, provoca golpes de ariete si no se extrae convenientemente, quita sección a la cañería si esta no tiene la adecuada caída, provoca corrosión por disolver los gases ácidos, afecta la transferencia.

El hecho de que una cañería esté "perfectamente" aislada no significa que no va a perder calor, sino que va a perder menos calor.

Las válvulas, juntas, bridas, sin aislación provocan pérdidas importantísimas, que se afectan a medida que sube la temperatura de servicio (o sea la presión del vapor), y la zona en que está instalada (protegida de los vientos, lluvias, etc.).

Es evidente que la aislación de estos accesorios deben ser de tal manera que sean fácilmente desmontables y que si ocurren pérdidas de vapor o agua, estas deben de ser "canalizadas" al exterior, no solamente para su inmediata reparación, sino que si estas pérdidas ocurren en el seno de la aislación, la misma deja de aislar y además se provocan zonas de graves corrosiones por la presencia de humedad y oxígeno.

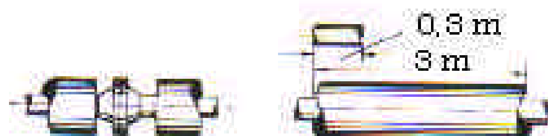



**Debemos recordar que los materiales aislantes están limitados a aquellos que no provocan daños a las personas (como el asbesto, que puede llegar a provocar problemas graves si su inhalan, están prohibidos su uso).**

La pérdida de calor de una válvula equivale a 1 m. de caño sin aislación o 10 m. de caño aislado del mismo Ø




La pérdida de calor de una platina equivale a 0,3 m. sin aislar o 3 m. de caño con aislación del mismo Ø.



**La pérdida de calor es proporcional a la diferencia de temperatura.**

$$Q = \frac{\delta T}{\frac{L}{K} + \frac{1}{f}}$$

f conductividad fílmica

**PERDIDA DE CALOR EN AISLACION DE CAÑERIA**

Kcal (ó watt) por m2 x hora de superficie exterior

T2 T1 r2 r1

**r1** radio caño m.
**r2** radio aislación externa.

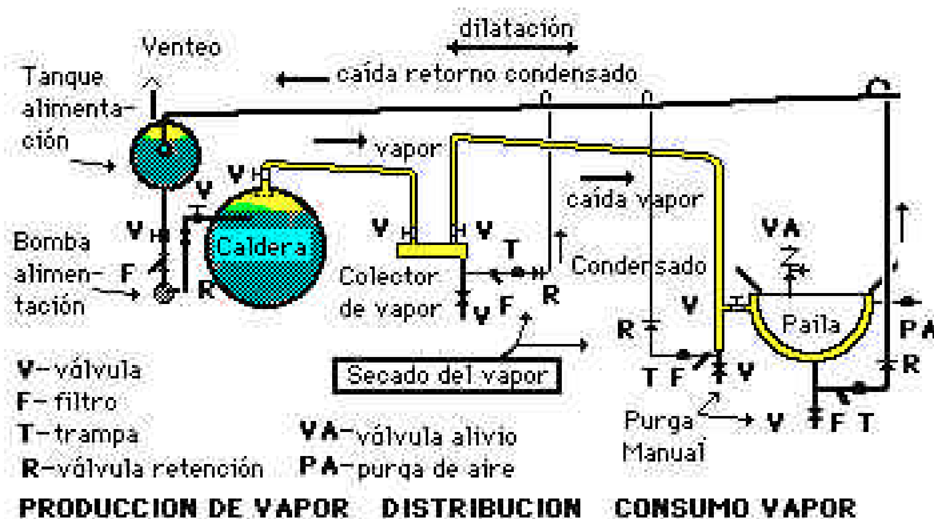
**T1** temperatura a aislar ºC ó ºK
**T2** temperatura ambiente ºC ó ºK
Conductividad de la aislación = **K**
**K** unidades kcal/mºCh (watt/mºKh)
**Q** flujo de calor perdido Kcal. (ó watt) / m2 h

$$Q = \frac{T1 - T2}{\left[\frac{r2 \times Log\, e\, (r2/r1)}{K}\right]}$$

Log e = logaritmo natural

Como vemos en el recuadro anterior, la cantidad de calor Q es directamente proporcional a la diferencia de temperatura e inversamente proporcional al espesor de la aislación y coeficiente K (característica de cada material aislante) y por supuesto también inversamente a su espesor de aislación.

Hay la creencia que la "lana de vidrio" aisla mejor cuando es "más suelta o liviana" es un "mito", ya que lo que aisla es la "porosidad" entre las fibras, por lo tanto cuanto más pequeña sean estas porosidades menor es la transferencia de calor, ya que el aire se mueve menos o sea el coeficiente K aumento con la densidad de la lana de vidrio. Lo mismo ocurre entre una casa de "bloques" y otra de ladrillo (aisla mejor).

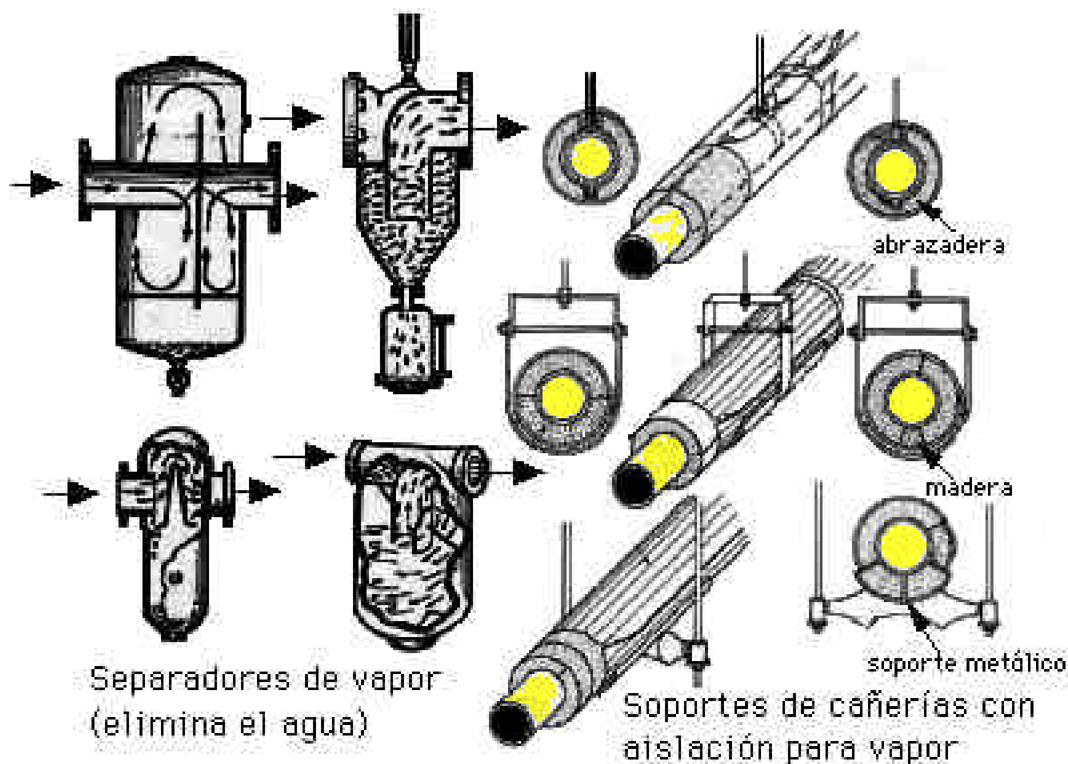



La **velocidad del vapor** es entre **15 m. por segundo** (54 Klm/h) en usos suaves hasta unos **40 m. por segundo** (144 Klm/h) en usos donde el ruido no importa (pudiendo haber vapores de baja presión, es decir cercanos al vacío absoluto que se manejarán en más de 100 m. por segundo, 360 klm/h). Es evidente que cuanto **mayor es la velocidad del vapor**, **menor es el diámetro** de la cañería, pero **mayor es la posibilidad de erosiones y la pérdida de carga** (pérdida de presión) y **ruidos molestos** para el trabajo de personas en su cercanía. Estas velocidades son la que **provocan los** "**golpes de ariete**". El agua tiene una densidad (peso por volumen) importante: 1Kg./dm3. Si imaginamos la masa de 1 Ltr. de agua (1Kg) a la velocidad de 100 Klm/hora, parada "**instantáneamente**" contra una pared de metal, la **energía** que ésta lleva para lograr esa velocidad, queda **liberada** en **fracciones de segundos**, provocando esfuerzos muy grandes.

**No confundir los** "**golpes de ariete**" con los golpes producidos **por las** "**implosiones**" de la mezcla de agua relativamente fría y el "vapor vivo" (en este caso se producen "chasquidos" por la condensación casi instantánea del vapor en el seno de agua relativamente más fría). Para evitar los "golpes de ariete" y los "chasquidos" por aguas que puedan quedar en las líneas, éstas deberán **tener una caída en el sentido en que circula el vapor** (del 1 al 2%), habiendo en cada tramo que pueda condensar por enfriamiento, un sistema de extracción del condensado (purga manual con "bolsa" de "residuos", filtro, trampa de vapor y retención o separadores de vapor y condensado en las zonas donde el vapor se requiera "bien seco", como ser antes de las válvulas reguladoras, quemadores de atomización a vapor o procesos especialmente indicados como ser "planchas de vapor", etc.). **Todas las salidas** (o tomas de vapor) deben **salir por la parte superior** de las cañerías, para evitar "arrastrar" el agua condensada de las mismas (tomar vapor seco). En algunos casos (cañerías de diámetro superior a 3") al **fin de línea** es conveniente poner en la **parte superior** un **purgador de gases** y en la parte **inferior siempre** (cualquiera sea el diámetro) una **purga de condensado**, para evitar la acumulación de condensado en forma permanente (se producen corrosiones y el vapor puede contaminarse con óxidos).

**Las líneas de condensado** también deben tener **su caída en el sentido del flujo** y las cañerías secundarias deben entrar por la parte superior (para evitar en lo posible el retroceso del condensado hacia los puntos de consumo, aunque para ello también es conveniente disponer de válvulas de retención del tipo "clapeta" a 45º). También deben ir aisladas para no perder su calor.

Los gases producidos por la **descomposición de las sales** que trae el **agua de reposición** y los **gases atrapados por la misma** (al estar en contacto con el aire u otros gases, también ocurre con el condensado), al producirse el vapor en la caldera, estos gases son arrastrados junto con este (que podrán ser **más pesados** o **más livianos** que **el vapor**) ocupando lugar en las líneas de vapor y en los "intercambiadores" (bajando su capacidad de intercambio). Provocan corrosiones y ocupan un lugar que el vapor "necesita" para efectuar su trabajo de intercambio térmico. Estos gases **debemos sacarlos** para evitar estos inconvenientes. Los **gases pesados** generalmente **retornan junto con el condensado** (previendo que la trampas sean adecuadas para su evacuación) y deben ser **extraídos en el tanque de alimentación** (venteo) manteniendo el **agua** de alimentación a **alta temperatura**. Los **gases livianos** no "bajarán" para salir de la cañería o del "intercambiador", por lo que hay que sacarlos por la parte superior por medio de "**purgas de gases**" **manuales o automáticas** (trampas térmicas, termodinámicas, etc.). **Un intercambiador puede perder más del 30% de su capacidad al estar mal evacuado de gases.**

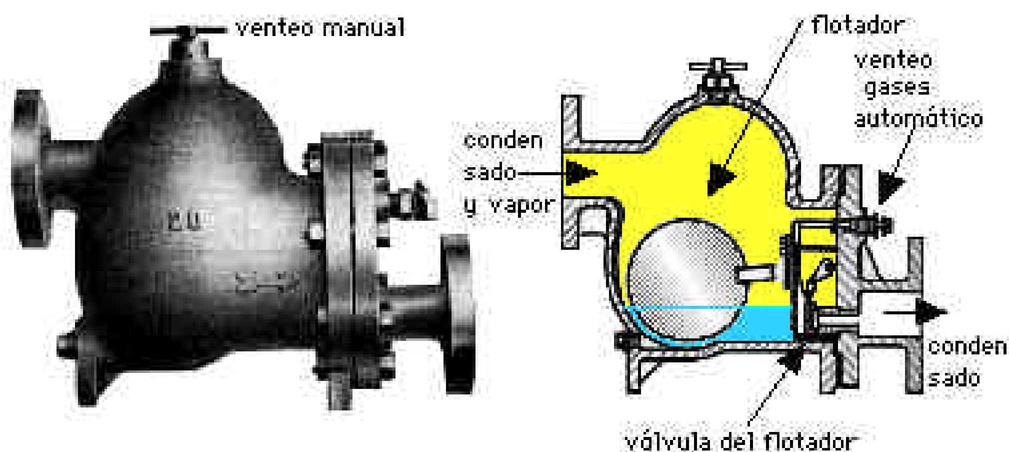



**ELEMENTOS PARA CAÑERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**

Tanto **las cañerías** de vapor como las de condensado **se dilatarán** (cuando calientan se alargarán y cuando enfrien se acortarán a la medida original).

Para ello debemos estudiar la forma de que **dilaten sin producir tensiones** o roturas que puedan provocar un accidente. Las mismas cañerías si no son de mucho diámetro se pueden **disponer con curvas** (evitar codos) amplias en tramos no muy largos para que puedan dilatar sin generar tensiones locales. De lo contrario habrá que disponer elementos que absorban la dilatación (Juntas de dilatación, Omegas, "fuelles", etc.).

**La dilatación es aproximadamente 1 mm. por metro cada 100ºC que aumente la temperatura**. Por ello solamente **parte de la cañerías serán fijas** y **otras libres** para la dilatación, cuidando que las distancias entre **soportes no provoquen "senos"** (curvas hacía abajo por el peso) donde pueda juntarse el condensado que luego pueda ser arrastrado provocando un "golpe de ariete" o "chasquidos" de puesta en servicio. De todas maneras, algunos soportes serán fijos y en otros la cañería podrá "deslizar" libremente.

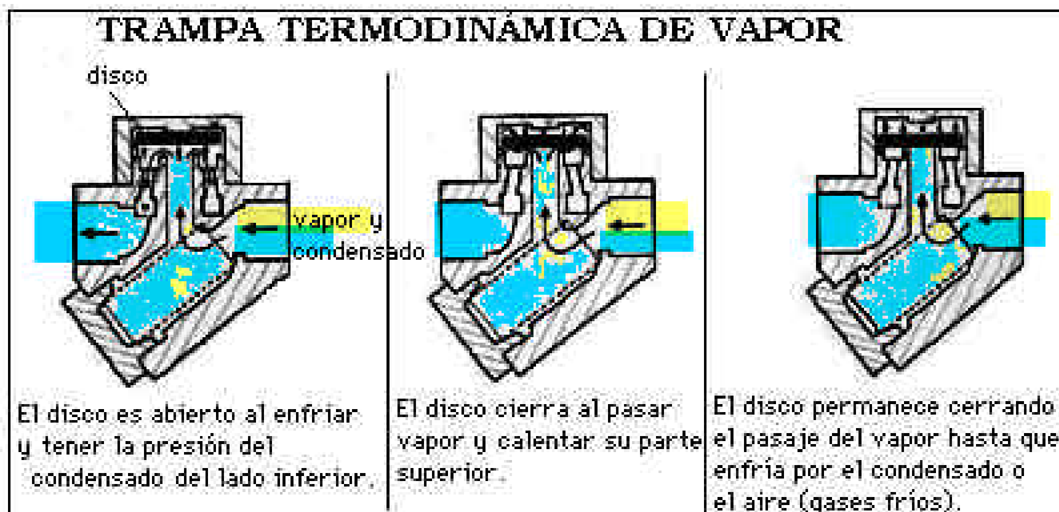



**Trampas de vapor**

La **utilización del vapor** para **calefacción** se podrá hacer en forma **directa** en algunos casos (calentamiento de agua o aguas con productos que no son afectados por el vapor y su condensado) o en forma **indirecta**: evitando el contacto del vapor y el agua con el producto a calentar y recuperando el condensado (cuya recuperación juega un rol muy importante en la calidad del agua de alimentación: menos agua de reposición, por lo tanto menos purgas, recuperación de calor, menos productos químicos , etc.).

Para la **calefacción indirecta,** debemos procurar el **aprovechamiento del vapor** por lo que no se deberá dejar "escapar" del equipo intercambiador hasta que este haya **entregado su calor latente de vaporización**, **saliendo ya condensado del equipo.** Para ello **necesitamos las trampas de vapor**.

La **función** de las trampas es **evitar el pasaje de vapor** y **dejar pasar el agua** que se ha condensado del vapor que ha entregado su calor .




Las trampas podrán funcionar de varias formas o principios: el más elemental sería la "trampa de flotador" ( Es decir: un flotador o esfera hueca más liviana que el agua y más pesada que el vapor que sube al subir el nivel del agua que se condensa. Al subir acciona una válvula que abre la salida de este condensado y luego que éste salga, al bajar el nivel vuelve a cerrar la válvula. Este sistema necesita una purga de aire o gases para que no "bloquee" la misma con gases o aire al quedar atrapados). Este sistema de trampa, el de flotador, es el ideal, ya que **solo permite el pasaje del condensado** (sobrecalentado o no, es decir a más de 100ºC o a menos), **no consumiendo energía térmica para funcionar**. Los otros sistemas de trampas consumen alguna forma energía para funcionar: las de balde normal, balde invertido, las térmicas, las termodinámicas, etc., pero tienen otras condiciones que las hacen imprescindibles o deseables para determinados usos.




Es **importante** disponer la **trampa de vapor adecuada** para cada **uso y condición**, es decir, que cada trampa tiene un comportamiento que la hace mejor diseñada para determinadas usos (grandes cantidades de condensado, evacuaciones rápidas, lenta para condensado sub-enfriado, altas presiones, etc) y determinadas condiciones de operación (vapores contaminados con ácidos, alcalinos o golpes de ariete, vapor sobrecalentado, etc).

**Todas las trampas** deberán **tener un filtro** de vapor, ya que el condensado y el vapor "arrastran" materiales duros de las cañerías (metales, incrustaciones, etc.), que tienden a "rayar" el asiento de las válvulas de las trampas, haciendo que estas queden perdiendo. Una trampa perdiendo significa que el "vapor vivo" pueda volver por las cañerías del condensado sin ser aprovechado, siendo esta pérdida en algunos casos muy significativa. Algunas trampas traen ya su filtro en el "cuerpo" que las forman.

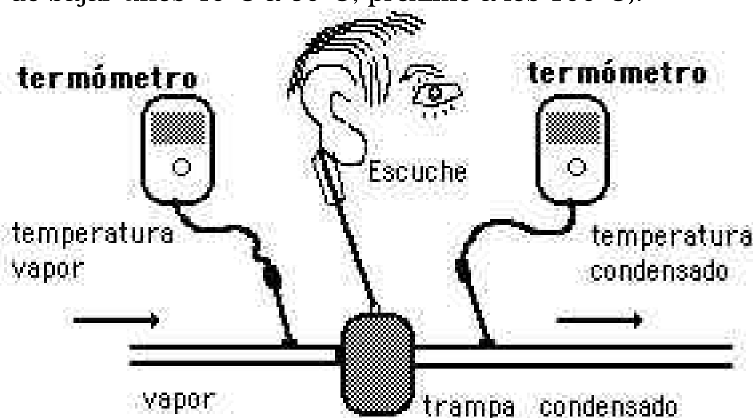
Es de buena práctica dejar una válvula de purga manual antes de la trampa de vapor y tomarla de un tramo de cañería que sirva de "bolsa de residuos" (es decir que quede un lugar en que las partículas decanten y que cada tanto se saquen purgando la válvula manual ). Los filtros deben ser limpiados periódicamente.

**Las trampas no son válvulas de retención**, por lo que es conveniente en muchos casos instalar una válvula de retención para evitar la inundación con condensado de las líneas del intercambiador, al cerrar el vapor a este (cuidado que en el intercambiador se podrá producir un vacío parcial que en algunos casos debe de ser "roto" con entrada de aire para evitar la deformación del intercambiador por la presión atmosférica). Siempre que se pueda, **evite que el aire entre en las cañerías de condensado**, ya que su oxígeno activa la acción de la acidez del anhídrido carbónico (CO2) que hará que las corrosiones sean muy violentas.

Hay trampas que para funcionar deben tener previamente en su interior condensado (las de balde). Por ello debemos ser cuidadosos de que las mismas sean usadas en lugares en que no ocurra una "pérdida" o retroceso de condensado en la línea y que pueda ser ocupado por vapor o gases.

Elegir la **trampa adecuada y diseñar la instalación**, hacen necesaria **una "pericia"** que muchas veces "no vienen en los libros". El **instalador** debe **respetar las caídas y curvas** que se hacen con un propósito, ya que muchas veces ésto será la clave del buen funcionamiento.

**Probar las trampas de vapor en forma periódica es muy importante.** Se pueden probar desde ver por un visor donde se ve circulando el vapor (que normalmente no se instalan), o probar con un destornillador como transmisor de sonido (o un estetoscopio de mecánico) que por medio del ruido podemos según el tipo de trampa "sospechar" su mal funcionamiento, hay también equipos de "ultrasonido" que detectan la falla de la trampa (o sea el pasaje de vapor vivo), **pero un método muy interesante es la de medir la temperatura de ambos lados de la trampa** (se la temperatura "aguas abajo" no es menor en una cantidad importante, es porque pasa vapor vivo, ejemplo: si trabajamos a 10 Kg/cm2 la temperatura antes de la trampa debe ser próxima a 180ºC y "aguas abajo" de la trampa debe de bajar unos 40ºC a 60ºC, próximo a los 100ºC).



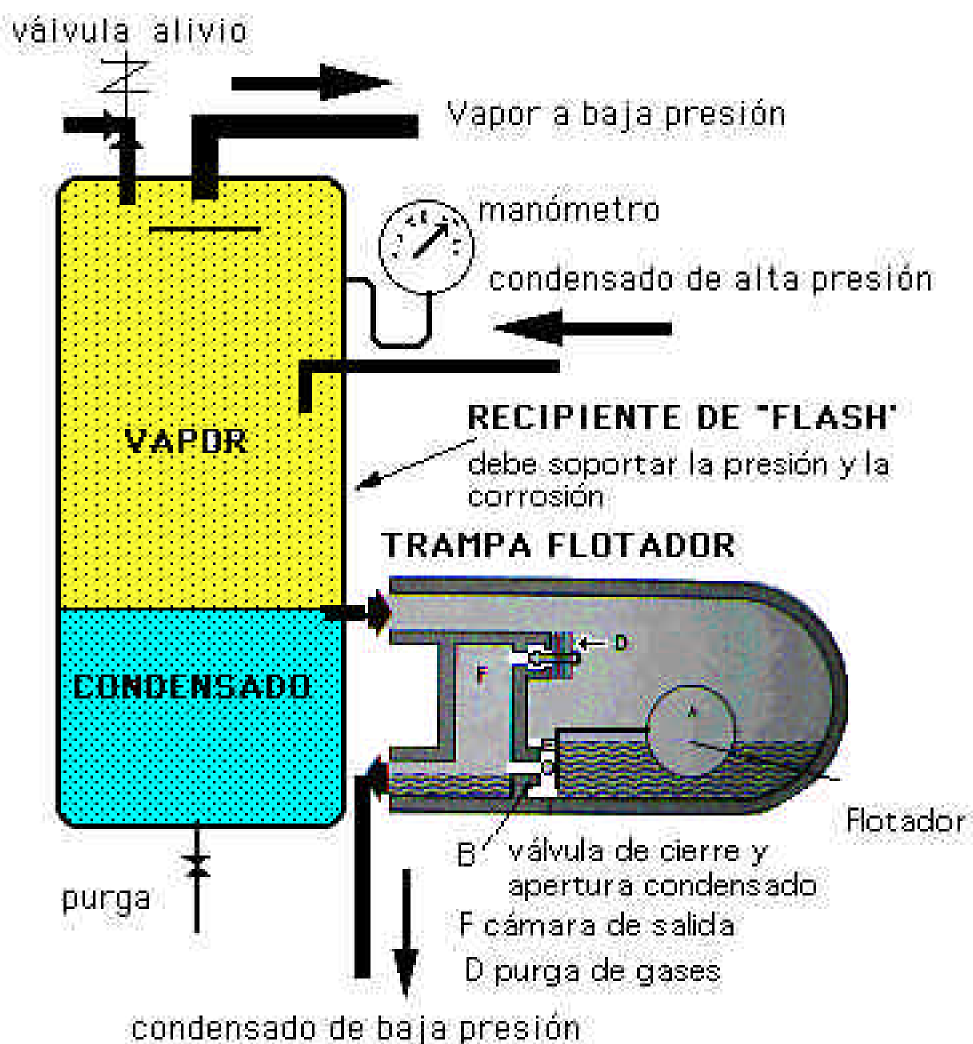
Toda descarga de condensado a un sistema de recuperación (tanque de alimentación o de recolección) deberá estar a una presión mayor a la que tiene el sistema de recuperación. Para ello es necesario que la temperatura del vapor en el interior del equipo de intercambio esté a un valor cuya presión de vapor saturado sea mayor que la presión que debemos de vencer para la descarga del mismo. (Si la temperatura del condensado en el punto de salida al sistema de recuperación es mayor que la correspondiente a la presión del sistema de recuperación, diremos que tenemos un condensado sobrecalentado. Al descargar a menor presión se provocará una evaporación del mismo hasta que la temperatura del agua y el vapor que se produce sea la correspondiente al equilibrio del vapor saturado a esa nueva presión del sistema de recuperación). El hecho de que tenemos **condensados sobrecalentados** y que **se provoque una reevaporación después de las trampas** (**vapor de** "**flash**"), si esta reevaporación es de un valor importante, producirá una **pérdida importante** del **calor** que no aprovecharemos. Esto debe ser estudiado para que no ocurra.




**El vapor de "flash" se produce debido que el agua sale de las trampas de vapor a la temperatura del vapor saturado o un poco menos** (depende del tipo de trampa e instalación o proceso), y este al entrar **en contacto con una presión menor**, **se reevaporiza** (evapora hasta la presión de equilibrio, tomando el calor del agua sobrecalentada, a la nueva presión de saturación, con el ambiente en que se encuentra, generalmente próximo a la presión atmosférica), **si este vapor escapa a la atmósfera, será calor perdido sin recuperar y con ello el agua del mismo**.

O sea, el **vapor de "flash"** tiene una **doble pérdida**, **el calor que lleva consigo y el agua** (condensado en forma de vapor o sea, agua pura).

La **recuperación del vapor de "flash"** puede ser tan **importante** como el 15% o más de la energía producida. Hay diversas formas de evitar que éste se produzca en demasía y varias formas de volver a aprovechar este vapor en usos cuya presión (temperatura) lo permitan . No olvidemos que también no sólo se pierde energía, sino que también agua pura (siempre que se pueda se debe recuperar la mayor cantidad de condensado).




**En la figura anterior:** hemos hecho el croquis de un balón recuperador de "flash" (aunque hay otras maneras de aprovechar el calor del vapor "flash" sin necesidad de utilizar vapor de baja, sino enfriando el condensado en forma directa con aprovechamiento del calor o "flasheando" el condensado bajo el agua de alimentación de caldera, con utilización del calor excedente del agua de alimentación en intercambio de agua a agua para usos de la planta) o de agua a aire para calentar en secaderos). La dimensión y la separación entre el agua y el vapor, es importante (evitando el arrastre con una diafragma separador en la salida del vapor).

Además, se debe considerar que este equipo por una falla del sistema puede llegar a quedar con la presión de la caldera, por lo que debe de tener un buena válvula de alivio, que limite su presión de trabajo. Se debe considerar, que por tener condensados y gases corrosivos, el espesor del material de su construcción debe ser previsto un espesor para corrosión y un factor de seguridad por sobre presión (aconsejándose hacer una prueba hidráulica con 11/2 la misma presión del sistema en alta). La trampa ideal es la de flotador, dejando un espejo de agua para mantener el equilibrio interno del vapor saturado. Luego haciendo control de espesores en la parte baja, especialmente en la fluctuación del nivel de agua, cada tantos años de uso.

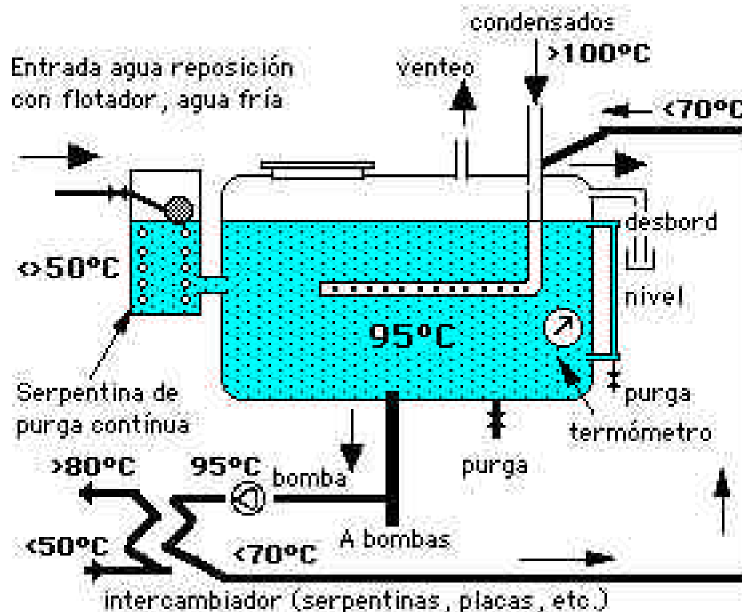
A veces la recuperación de condensado hace difícil su utilización para la alimentación de la caldera debido a la "**cavitación**" **de la bomba** de alimentación por **la alta temperatura** del agua (la bomba parece que tuviera un "tapón de vapor", en realidad se forma vapor por alta temperatura del agua y la baja presión necesaria para la succión) . Esto se corrige disponiendo que el tanque de alimentación se encuentre a **suficiente altura sobre la bomba** (a más de 4 m. a 5 m. sobre la bomba), de manera que se produzca una presión hidráulica sobre la misma que no permita la reevaporación (cavitación). **Hay bombas** que **tienden** a "**cavitar**" con más facilidad que otras . **Deben de ser evitadas**, ya que tirar el condensado y poner agua fría es el peor "negocio" en todo sentido. También las **cañerías de succión** de la bomba es importante para evitar la cavitación, ya que una cañería de **poco diámetro**, **larga**, **con codos** en vez de **curvas**, con un **filtro y válvulas** con mucha pérdida de carga (se necesitan filtros generosos y válvulas de pase total), tienden que **la suma de pérdidas de presión afecten al funcionamiento de la bomba** (cavitando la misma por la baja succión necesaria para vencer las pérdidas de carga, esto hace que se forme vapor a la succión de la bomba).

**La cavitación no solamente dificulta la alimentación de agua, sino que provoca la rotura de la bomba por un ataque corrosivo mecánico,** ya que las pequeñas burbujas colapsan contra el metal de la bomba, provocando una "erosión" mecánica que "saca" metal y favorece el ataque químico del mismo, hasta destruir especialmente los difusores del rotor (del lado contrario al impulso).

La altura del tanque de alimentación afecta en algo la recuperación de condensados al generar una presión más alta a la descarga de los equipos de intercambio. Pero normalmente ésto no es problema cuando se trabajan a presiones de vapor de más de 1 Kg/cm2. En todo caso es preferible si ésto fuera un problema, disponer una bomba de baja presión en un tanque recuperador de condensado. Los tanques deben ir aislados y tener sus purgas de fondo. Nunca tomar del fondo de los tanque con las bombas, para evitar bombear los sedimentos ( óxidos, incrustaciones, barros, etc.).

**Los tanques de alimentación** deberán tener un buen "venteo" para descarga de los gases y del aire, que serán expulsados al calentar los mismo con el condensado de retorno. En caso que los condensados sean insuficientes, es interesante disponer una "flauta" de calefacción para calentar el agua a más de 80ºC, si la altura del tanque sobre la bomba lo permite.

El croquis siguiente, es de un tanque de alimentación, en el cual es hemos puesto algunos elementos de nuestra propia experiencia : 1-Flotador del agua de reposición fuera del tanque (para poder repararlo en marcha), 2-serpentín de recuperación del calor de la purga continua en una zona fría (para mayor recuperación del calor y precalentar el agua más fría), 3-distribuidor del condensado bajo el agua de alimentación para recuperación del vapor de "flash" (siempre que el agua del tanque se mantenga por debajo de 95ºC (para ello hay que enfriar el agua de alimentación si esta es calentada en exceso por el vapor de "flash", 4-sistema de intercambio externo del agua del tanque de alimentación para aprovecha el exceso de calor del vapor de "flash" (calentando agua o aire).




Las **bombas de alimentación** para que trabajen a **más de 80ºC** es conveniente que **tengan "sellos mecánicos"**, ya que las empaquetaduras tienden a "recalentarse" por la fricción y la falta de disipación al estar el agua muy caliente (en este caso las empaquetaduras de las bombas deberían tener **refrigeración con agua fría externa**, por medio de un aro de bronce por el que circula el agua fría, aro que separa la empaquetadura en dos secciones, y su dimensión circular es igual a un aro de empaquetadura, teniendo una circulación interna, con entrada y salida para el agua).

Cuando se trabajen los **equipos con "calefacción directa"** (o sea descarga del vapor en el seno del agua o agua con productos a calentar: digestores, tinas, mezcladores, etc.), **es conveniente** que las líneas de vapor tengan una **válvula de retención**, ya que al cerrar el vapor, se provoca un vacío parcial que tiende a succionar el agua contaminada. En el caso de un corte de electricidad o apagado accidental de la caldera (o cierre del vapor), puede llegar por las líneas de vapor hasta la propia caldera o en sistemas combinados con recuperación de condensado: puede retornar por el condensado contaminado producido por el vapor "sucio" alimentado a dichos equipos al poner en funcionamiento nuevamente el sistema de vapor.

En el caso de los "**digestores**" la **situación es muy grave**, ya que los mismos al tener presión interior por la temperatura (equilibran la propia presión de alimentación), al disminuir la presión de la caldera o sistema, tenderá a descargarse por la cañería de suministro de vapor. Es importante que dispongan **más de una válvula de retención** (por supuesto que los mismos deberán tener **válvulas de alivio**, **presión de vapor regulada** y **limitada**, etc.).

**En todas las plantas** que se **ponen en marcha**, cada vez que han estado parada un tiempo (más de un turno), es conveniente "**tirar**" unos minutos la recuperación del **condensado**, para evitar la posible contaminación que se pueda provocar en las paradas. Por eso es necesario disponer una válvula que permita "tirar" esta recuperación de condensado antes del tanque de alimentación.

Los **análisis del agua de caldera** generalmente **indican** las **contaminaciones** que puedan producirse, esto permite tomar medidas, pero es más **conveniente prevenir** (disponer de elementos y medidas que la eviten).

Los "**reguladores de presión**" (elementos que reducen la presión del vapor a una presión prefijada de antemano) deben de **funcionar libres de condensados** (se "rayan" sus asientos, "oradan" y tapan sus orificios calibrados), por lo que es necesario que se instale un separador con trampa de condensado para secar el vapor. También es de primordial importancia que dispongan **válvulas de alivio capaz de descargar toda la sobre-presión generada** en caso de que se "rompa" la válvula reguladora totalmente abierta (generalmente tienden a cerrar). Si es necesario hay que disponer una "restricción" (placa orificio) junto con la válvula, para limitar el pasaje máximo del vapor en caso de "rotura".

**Elegir la válvula adecuada** para cada función y forma de trabajo: por ejemplo, las válvulas esféricas serán muy buenas como cierre rápido, pero no deberán ser usadas para regular el caudal (lo mismo sucede con las válvulas esclusas). En el caso en que debamos regular el caudal se instalará una válvula de "globo" (plato) cuyo asiento permita la laminación del vapor. Generalmente en estos casos es conveniente la instalación de 2 válvulas: una para regular, contra el equipo de utilización y otra para abrir y cerrar contra el suministro de vapor. (ya que la válvula de regulación tenderá a perder al estropearse el asiento ).

**Una instalación bien planeada y manejada, evita muchos problemas.**

**CALDERA HUMO-TUBULAR 5 AÑOS DE MARCHA**





**TRATAMIENTO QUIMICO**

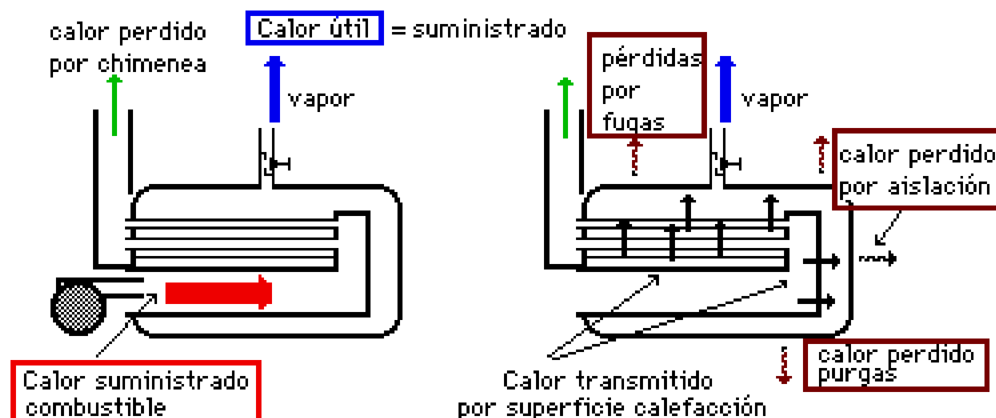
Ablandamiento externo y tratamiento químico interno clásico.
Marcha todos los días del año a casi el 100%.

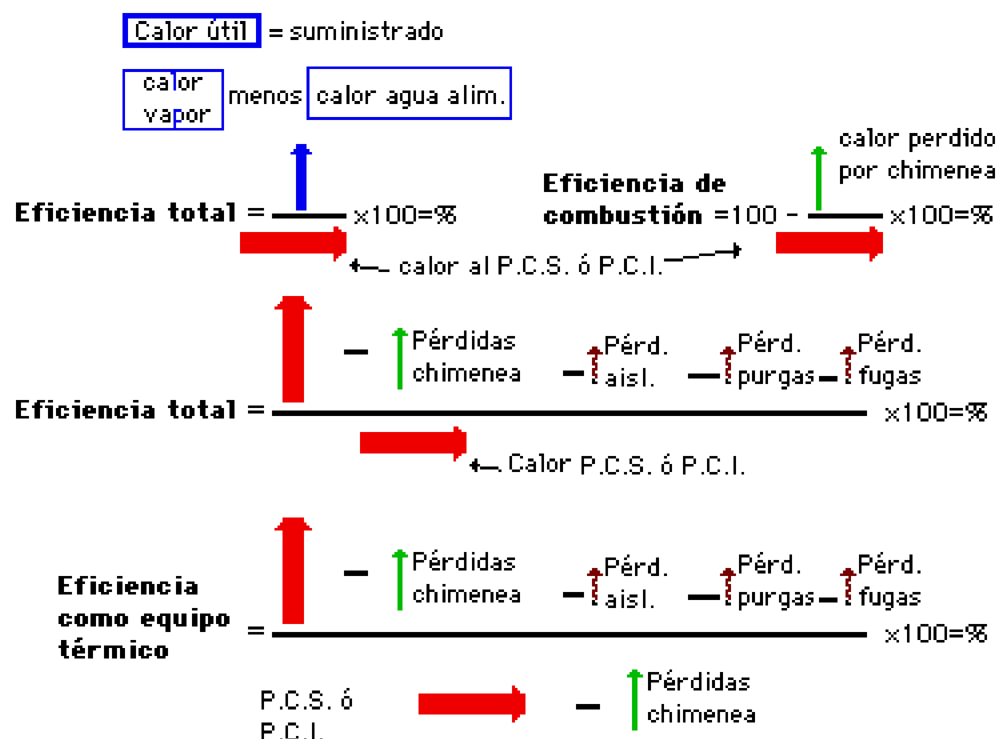
# 9-EFICIENCIA EN LAS CALDERAS:

La medición de la eficiencia en las calderas significa la **evaluación** o medida del **porcentaje** (%) del **aprovechamiento del calor capaz de suministrar un combustible**. Este calor suministrado por el combustible podrá estar referido al Poder Calorífico Inferior (**P.C.I.**) o Poder calorífico Superior (**P.C.S.**). En las calderas podemos establecer, a grandes rasgos, en dos las pérdidas de calor: Una provocada por el **calor que perdemos al salir los gases** calientes **por la chimenea** (el aire y el combustible que forman esos gases se consideran a la temperatura de la sala al tomarlos para su combustión, aunque el combustible en algunos casos se calefacciona de una fuente exterior como ser eléctricamente, pero en la práctica la mayoría de los casos lo tomaremos como se indico al principio) y la segunda es la **pérdida provocada por la caldera como cualquier equipo térmico** (pérdidas de calor por la aislación, por las pérdidas de agua y vapor, incluyendo las purgas necesarias, etc.).

**Eficiencia de la combustión:**

Si consideramos solamente la evaluación de la primera pérdida (por los gases de chimenea), podemos decir que estamos evaluando la **eficiencia de la combustión**: **En este caso estamos considerando el calor que quedó en la caldera, no así el que es transferido realmente al vapor.** Comparando mediciones hechas en la misma caldera en un corto tiempo, realmente estamos comparando su calidad de combustión (exceso de aire, gases no quemados, etc.). Si **comparamos calderas distintas o en momentos distantes de una misma caldera**, esta eficiencia de combustión está también juzgando las **condiciones de transferencia** de la superficie de calefacción (sucias de hollín, incrustaciones del lado agua, etc.) y de pérdidas directas al exterior (hogar de refractatario, envueltas refractarias, etc.), pudiendo también considerarse aquellos casos de roturas interiores de elementos que conducen a los gases calientes hacia las superficies de intercambio (bafles, diafragmas, torbellinos,etc.), este caso se nota fundamentalmente por el aumento de la temperatura de los gases en chimenea. **Considero que esta Eficiencia debería llamarse EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA.**




**Eficiencia de la caldera como equipo térmico:**

En este caso estamos considerando el **% de calor suministrado al vapor** del total de **calor que ha quedado en la caldera**. El calor que ha quedado en la caldera es el % que nos da el cálculo o medición de la **eficiencia de combustión y transferencia.**

El calor suministrado al vapor será menor debido a las pérdidas de calor por las superficies de la caldera en contacto con el aire de la sala de calderas o por su estructura, debemos agregar las pérdidas producidas por las fugas de agua caliente y vapor (considerando las purgas necesarias). Esta eficiencia, sino consideramos las pérdidas de vapor y agua (con purgas), son fijas para una misma presión, por lo que a mayor régimen de vaporización menor serán en % respecto al calor transferido a la caldera. Por eso es importante que la caldera sea calculada para un régimen de marcha normal del 70% al

80% de su capacidad y que la calidad de agua permita el mínimo de purgas (una máxima recuperación de condensado) y mínimas pérdidas de vapor con un buen mantenimiento.

De la consideración de la **eficiencia de la combustión** y de la **eficiencia de la caldera** como equipo térmico, podemos establecer una **eficiencia total**.

**La eficiencia total** de una caldera está expresando en %**, el porcentaje del calor total suministrado por el combustible** (referido al P.C.S. o al P.C.I.) **que es tomado en la caldera y es transportado por el vapor**.

Para medir estas eficiencias (combustión, caldera como equipo térmico, o la eficiencia total) debemos de conocer o tomar una serie de valores que relacionaremos en expresiones matemáticas para cada caso. Estas mediciones se harán con instrumentos (medidores de gases, termómetros, manómetros, caudalímetros, etc.) y se tomarán valores de tablas (tablas de vapor, diagramas de Ostwald para gases, etc.).

Veamos una forma práctica de hacer estos cálculos, con un valor aproximado suficiente para el trabajo normal de evaluación en baja y media presión.

La Eficiencia en calderas se establece por dos métodos : Directo e Indirecto.

**Eficiencia Directa** (aproximado): Mida la cantidad de vapor en Kg./h (ó la cantidad de agua de alimentación menos las purgas y pérdidas en Kg./h), su presión y su temperatura, la temperatura del agua de alimentación. Al mismo tiempo mida la cantidad de combustible consumido para producir dicho vapor. De las tablas de vapor saturado tome el calor total del vapor (si no es saturado, tome una tabla de vapor sobrecalentado) y el calor del agua a la temperatura de alimentación. Usando la siguiente fórmula Ud. obtendrá la Eficiencia Total aproximada en forma directa:

$$\textbf{Eficiencia Total \%} = \frac{\text{Kgs.vapor/h x ( Kcal/Kg. vapor - Kcal/Kg. agua) x 100}}{\text{Kgs. combustible/h x Poder calorífico Kcal./Kg.}}$$

El poder calorífico que se debe de tomar es aquel al cual queremos referir la Eficiencia Total, o sea **P.C.S.** ó **P.C.I.**. (se ha despreciado la "cualidad" ó "título" del vapor saturado, es decir: el agua "arrastrada sin evaporar por el vapor").

**Eficiencia Indirecta** (aproximada): En este caso se miden las pérdidas en chimenea y calculando su %, podemos establecer que:

**100 - % pérdidas en los gases de chimenea = % Eficiencia de la combustión.**
**(y transferencia).**

Las pérdidas de la caldera en sí (purgas, pérdidas de calor por su cuerpo a la sala, pérdidas de agua y vapor) no las tenemos en cuenta (ya que las mismas se relacionan con el Eficiencia Total y no con la Eficiencia de la combustión y Transferencia).

**Para el cálculo de esta pérdidas por chimenea debemos conocer :**

Ai = Aire teórico mínimo que necesita el combustible (Kg./ Kg.), Ag = agua formada por el combustible + agua de la humedad del combustible (Kg).

A% = Exceso de aire (medido por medio del $CO_2$ ó $O_2$), igual al (Coeficiente de exceso aire) x 100 - 100 = A% (ver gráficos en este capítulo).

Cp = Calor específico de los gases de combustión ( aproximado 0,25 Kcal /Kg.). Este calor específico varía de acuerdo a la composición de los gases y la franja de temperatura de trabajo (generalmente no es menos de 0,25 Kcal/kg y no más de o,26 Kcal/kg )

T2= temperatura de los gases de chimenea en ºC .

T1 = temperatura del aire utilizado en la combustión ºC (temp. aire en la sala).

Poder calorífico (P.C.S. y P.C.I.). del combustible (Kcal/Kg).

$$\text{Eficiencia comb. P.C.S.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100) \times Cp \times ( T2-T1)+ Ag \times 600] \times 100}{\text{P.C.S.}}$$

$$\text{Eficiencia comb.P.C.I.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100)) \times Cp \times (T2-T1)] \times 100}{P.C.I.}$$

Observase que en la Eficiencia de la combustión referida al P.C.S. hemos tenido en cuenta el calor que absorbe el agua que trae el combustible al evaporarse (Ag x 600), no hemos tenido en cuenta el sobrecalentamiento de la misma, de la humedad del aire, de los gases no quemados (ya que estamos haciendo un cálculo práctico aproximado).

Veamos la cantidad mínima necesaria de **aire teórico Ai** para los combustibles usuales:

Fuel Oíl pesado..........................13,22 Kg. aire por Kg. de F.Oíl
Súper gas..................................15,7 Kg. de aire por Kg. de super gas.
Gas natural ...............................16,3 Kg. de aire por Kg. de gas natural.
La leña varía con la humedad (ya que a más humedad menos combustible)
Leña con 25% de humedad.........4,800 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 30% de humedad.........4,480 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 35% de humedad.........4,160 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 0% de humedad..........6,400 Kg. de aire por Kg. de leña.

Cáscara de arroz 10% de humedad.....4,360 Kg. de aire por Kg. de cáscara.
Cáscara de arroz 0% de humedad.....4,850 Kg. de aire por Kg. de cáscara.

Para el cálculo de Ag x 600 podemos sustituirlo por = P.C.S.- P.C.I. ya que la diferencia de los mismos es la cantidad de calor en evaporar el agua total (suponiendo que el combustible no trae agua extra después del análisis de la Bomba de Calor).

Si consideramos la **Eficiencia Total** (que es igual al calor entregado al vapor en referencia al calor entregado por el combustible ) debemos de considerar la **Eficiencia de la caldera como equipo térmico** (considerando las pérdidas por la aislación, vapor y agua, purgas), ya que la caldera recibe el calor que hemos calculado en la **Eficiencia de la combustión y transferencia** (calor del combustible - calor perdido en chimenea) y entrega al vapor un calor de menor cuantía por dichas pérdidas (aislación, purgas, pérdidas de agua y vapor). Podemos establecer que la :

**Eficiencia Total = Eficiencia a la Combustión x Eficiencia de Caldera** (como Equipo térmico).

Con todas las eficiencias referidas al mismo poder calorífico, establecido esto, podemos decir que:
**Eficiencia Total directa = Eficiencia Total indirecta**.

Por lo que podemos establecer que la Eficiencia de la caldera como equipo térmico es:
**Eficiencia Caldera (equipo) = Eficiencia Total dir. ÷ Eficiencia Combustión Indirecta**

La Eficiencia de la caldera como equipo térmico, si no consideramos la purgas y pérdidas de vapor y agua, actualmente con los diseños de las calderas más compactas y mejor aisladas, son del entorno del 97% al 99% de la producción máxima de la caldera (esto quiere decir que cuanto más baja la producción de vapor de la caldera, esta pérdida adquiere mayor importancia, de allí que las calderas se deben elegir para trabajar al 70% de su capacidad, dejando un 30% para tomar las cargas momentáneas. Las calderas antiguas, con mucha estructura, refractarios y poca aislación o mala, tenían pérdidas del orden del 15% al 10%, de allí que fueran candidatas a su sustitución por las calderas modernas (ya que esta pérdidas muchas veces era el valor de una caldera nueva que se pagaba en un año).

**Cálculo Ahorro de combustible :** (**mejorando la combustión** )

El ahorro de combustible, suponiendo que es la misma caldera, su Eficiencia como equipo térmico permanecerá igual, el ahorro se puede medir y calcular midiendo la Eficiencia a la combustión y trans. (midiendo el exceso de aire y con un termómetro):

**Ahorro %= [ Eficiencia Comb. %:mejorada - Eficiencia comb.%:anterior] x100]**
**Eficiencia Comb.%:mejorada**

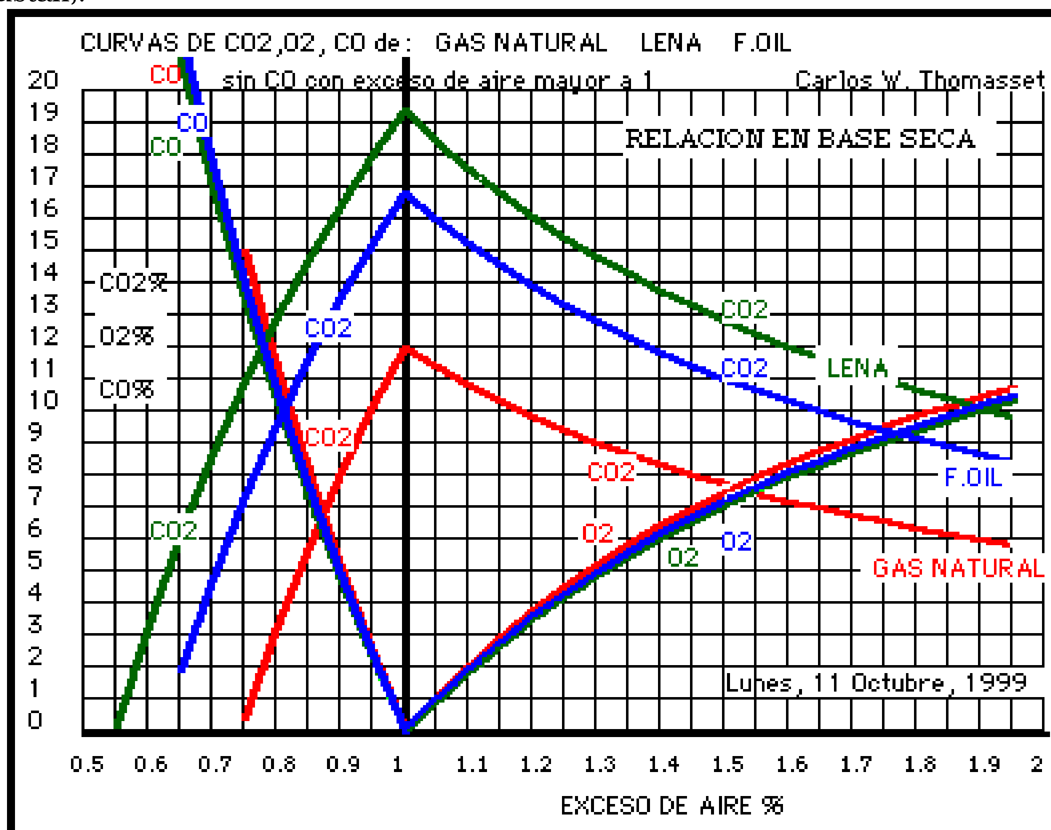
**Cálculo de Ahorro de combustible**: (**disminuyendo las purgas, fugas y mejorando la aislación**):

**Ahorro %= [ EficienciaTotal: % mejorada - EficienciaTotal:% anterior] x100]**
**Eficiencia Total:% mejorada**

No hemos tenido en cuenta el combustible sin quemar en cenizas, hollín , etc..

**Medición del exceso de aire en gases de chimenea:**

Para medir el exceso de aire en los gases de chimenea debemos utilizar instrumentos y gráficos. No todo el exceso de aire se debe al que ha entrado por el quemador, pudiendo haber filtraciones por la envuelta de la caldera o tapas de observación. Este aire debe ser eliminado todo lo posible poniendo juntas (o calafateando rajaduras o aberturas que no ajustan).

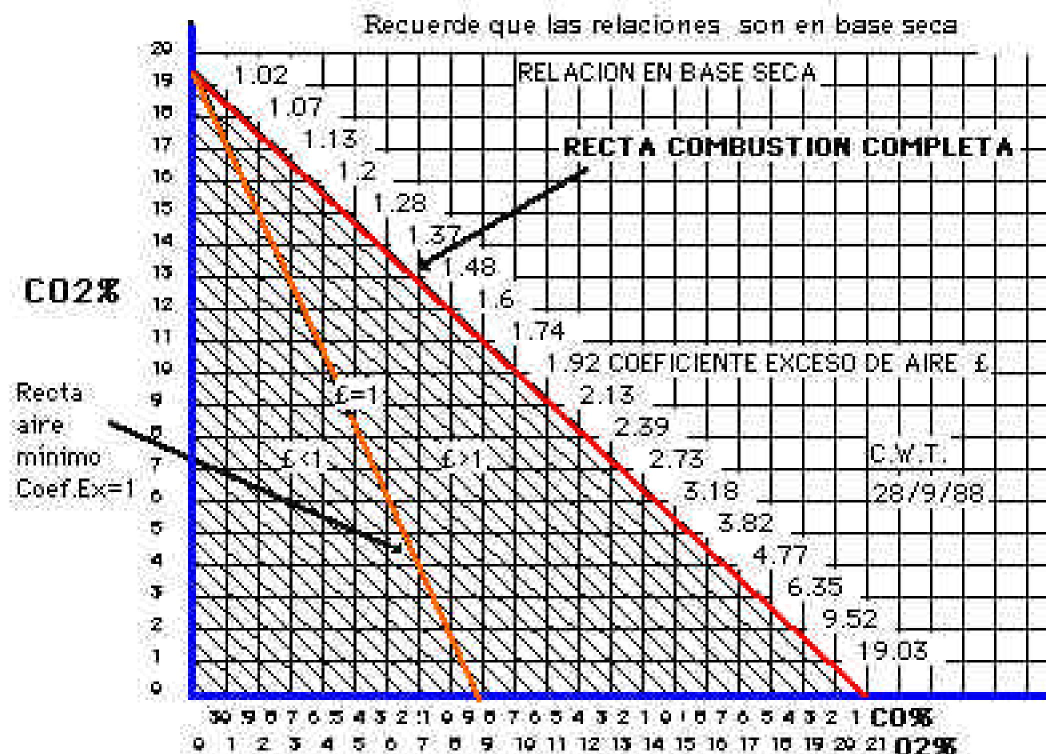



Este gráfico permite tener una idea del **Exceso de aire** (coeficiente) al medir los gases de chimenea, tiene el inconveniente que supone que **no hay presencia de CO** (monóxido de carbono, es decir carbono que se ha "quemado" con un solo oxígeno y ha entregado un

30% de su calor solamente) **cuando hay exceso de aire**. El exceso de aire empieza al valor mayor que 1, siendo el % de exceso igual al Nº menos 1 por 100 (ejemplo: midiendo leña tenemos un $CO_2$ de 10%, en el Eje vertical leemos 10% de $CO_2$ y seguimos la horizontal hasta que corte la curva de $CO_2$ correspondiente a la leña, desde ese punto bajamos por la vertical hasta el eje horizontal donde leeremos Coeficiente de Exceso de aire 1,9 , el % de Exceso de aire será : 1,9-1= 0,9 por 100 = 90% de Exceso de aire. Es decir, que tenemos un 90% de aire que sobraría, pero en leña normalmente podemos necesitar un Exceso de aire del 40-50%, es decir que el aire realmente sobrante será 90%-40% (ó 50%) = 40%(ó 50%). Debemos de tratar de ajustar la cantidad de aire necesaria para evitar este exceso elevado.

Vemos que midiendo el **$O_2$** (oxígeno), el **Exceso de aire es prácticamente igual** para los 3 combustibles anteriores para **una misma lectura de oxígeno**, por ello se prefiere medir el oxígeno si es posible, ya que permite medir el Exceso de aire sin saber exactamente la composición del combustible.

Como en Leña y gases es común que aparezca el CO **por mala combustión**, es preferible la utilización del triángulo de OSTWALD, para lo cual debemos de medir siempre el $CO_2$% o el $O_2$% , **pero siempre medir el CO** (que aunque haya exceso de aire, puede producirse por mala combustión).

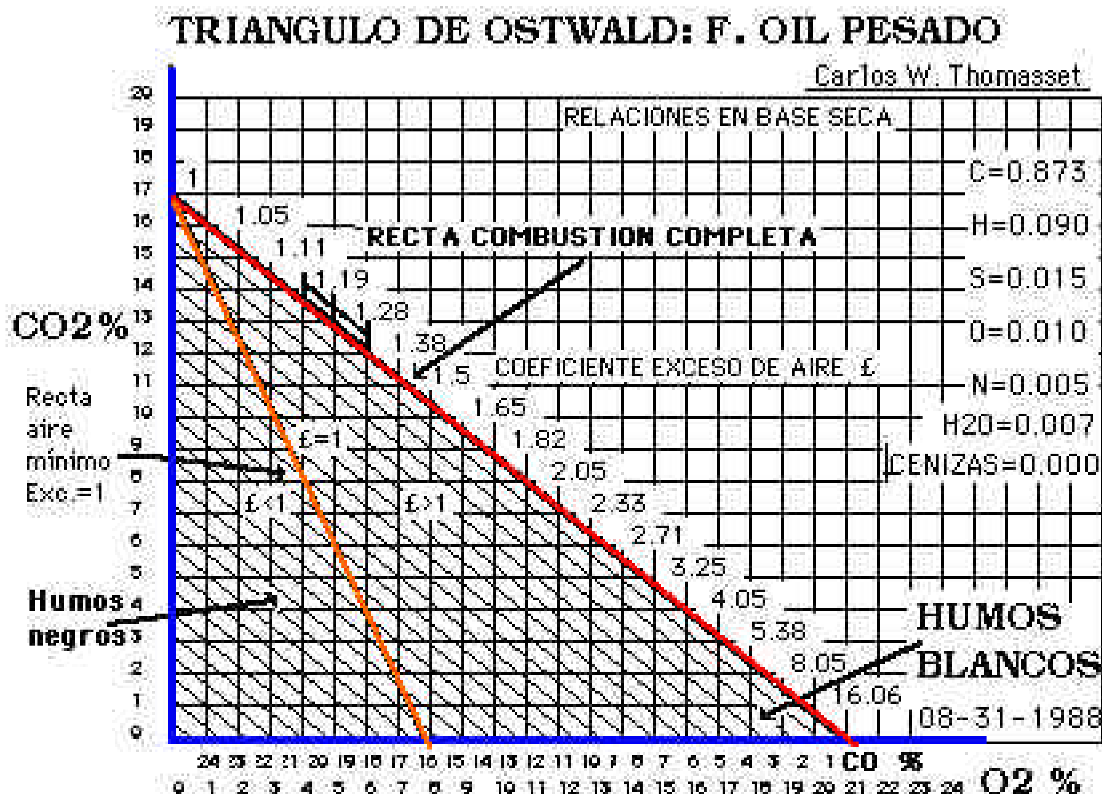



Para utilizar el triángulo de OSTWALD en leña es conveniente medir $CO_2$ u $O_2$ y CO en ambos casos (o los tres es mejor: con un ORSAT). Por la vertical entre con las lecturas de $CO_2$ % y por horizontal entre el $O_2$% en la numeración inferior, si no hay CO trazando los valores de $CO_2$ y $O_2$, los mismos deberán cortarse en la hipotenusa, en donde leeremos el Coeficiente de Exceso de aire. Si medimos el CO % (que es aconsejable) debemos de leer su valor en la horizontal correspondiente a CO% y seguir las paralelas a la hipotenusa en el

interior del triángulo hasta cortar el punto en que debería unirse con los trazados de CO2% y O2%, en este caso el Coeficiente de Exceso de aire se debe de sacar trazando una paralela a la recta que marca el Coeficiente de Exceso de aire igual a 1 (aire mínimo necesario) que pasaría por el punto de intersección de las rectas (del CO2, O2 y CO) y que cortaría a la hipotenusa en donde se leería el valor del Coeficiente de exceso del aire (estas rectas no se trazaron para no oscurecer el trazado). Normalmente si medimos con un ORSAT (CO2,CO y O2) es muy difícil que se unan en un punto, por lo que hay que trazar el triángulo de los cortes entre cada una de las rectas (CO2 y CO , CO2 y O2 , CO y O2) y tomar el punto medio equidistante de los 3 lados de este triángulo pequeño.

Puede haber diferencias importantes entre la medida del ORSAT y el triángulo de OSTWALD que disponemos, ya que el trazado depende de la composición de la leña, su combustión y errores al medir; pero es muy interesante su aproximación para poder razonar los problemas de la combustión.

En el trazado del triángulo de OSTWALD, hemos supuesto que el CO viene solo como gas sin quemar, cuando en la práctica se considera la presencia de otros elementos sin quemar, como el hidrógeno entre ellos, se puede estimar que tenemos la misma cantidad de estos gases sin quemar que la cantidad de CO.



## Poderes caloríficos de los combustibles usuales:

**P.C.S.** (Poder calorífico superior) **P.C.I.** (Poder calorífico inferior)

La diferencia consiste que en el P.C.I. se descuenta el calor necesario para vaporizar el agua que se forma en la combustión del hidrógeno y el agua que trae como humedad el propio combustible ( P.C.I.= P.C.S. - 600 x Agua Total), mientras que en el P.C.S. el agua se supone condensada ( a 0ºC) midiendo todo el calor disponible.

| | | |
|---|---|---|
| **Fuel Oíl Pesado** ( Nº6)..... | P.C.S. =10.300 Kcal./Kg. | P.C.I. = 9.700 Kcal./Kg. |
| **Súper gas** (garrafas)........... | P.C.S. =12.800 Kcal./Kg. | P.C.I. =11.800 Kcal./Kg. |
| Gas natural....................... | P.C.S. = 12.290 Kcal/Kg. | P.C.I. = 11.100 Kcal/Kg. |

Este valor para el gas natural, responde al ramal Paysandú (junio 2000), los valores deben ser tomados de la información del ramal correspondiente (según procedencia).

El volumen tomado por el **gas natural**, generalmente es referido al m3. a una temperatura de 15ºC y 1 atmósfera de presión. Su **gravedad específica** respecto al aire (aprox. 0,62) o su peso por m3.-densidad- a una temperatura de 15ºC y 1 atmósfera de presión, aprox. **0,76 Kg/m3**). Lo que podemos establecer un P.C.S. de 9.400 Kcal/m3 y un P.C.I. de 8.490 Kcal/m3 en las condiciones de presión y temperatura antes dicha. Estos valores varían de acuerdo a la zona de extracción del gas y al tratamiento del mismo.

La leña como tiene distintas humedades, el poder calorífico dependerá del % de humedad de la misma no solo por el agua que forma y trae, sino por el % de materia que es ocupada por el agua (si la humedad es el 40% , la materia seca será el 60% - con su agua de formación - ésta agua y el 40% será el agua a evaporar).

**Leña de eucaliptos:**

Humedad 0% (totalmente seca) P.C.S. = 4.685 Kcal/Kg. P.C.I.= 4.300 Kcal/Kg.

La humedad mínima de la leña que se logra en la práctica es de 20% después de 1 año, pero lo normal es del 25% ( más de 6 meses de estacionamiento).

| | | |
|---|---|---|
| Humedad 25%................... | P.C.S. = 3.510 Kcal./Kg. | P.C.I. = 3.080 Kcal./Kg. |
| Humedad 30%................... | P.C.S. = 3.280 Kcal./Kg. | P.C.I. = 2.830 Kcal./Kg. |
| Humedad 35%................... | P.C.S. = 3.045 Kcal./Kg. | P.C.I. = 2.590 Kcal./Kg. |
| Humedad 41%................... | P.C.S. = 2.760 Kcal./Kg. | P.C.I. = 2.290 Kcal./Kg. |
| Cáscara de arroz 10%........ | P.C.S. = 3.100 Kcal./Kg. | P.C.I. = 2.800 Kcal./Kg. |

Cuando la leña se corta en los montes de eucaliptos la humedad supera el 60%

La humedad la estamos dando en base húmeda (% H b.h.) es decir, tomada una cantidad de leña, pesada ( Ph) , secada en una estufa a baja temperatura ( unos 105ºC) hasta peso constante y pesada nuevamente la cantidad anterior ( Ps), el % de humedad es de acuerdo a este cálculo:

**% H b.h. =[( Ph - Ps) ÷ Ph] x 100**

Tener cuidado con la humedad dada en base seca (% H b.s.) (que usan los madereros) que es igual :

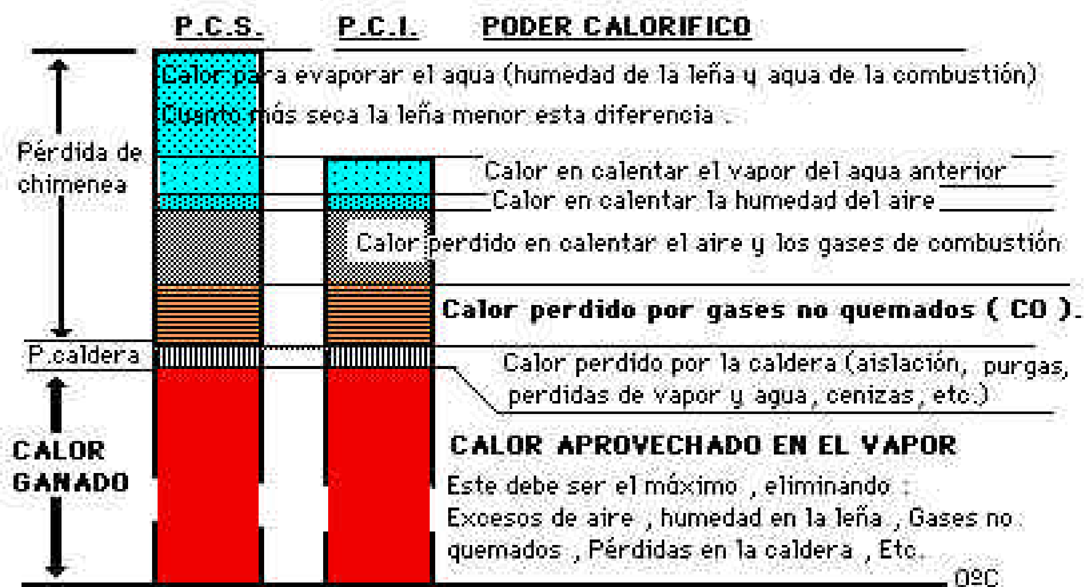
**% H b.s. =[( Ph - Ps) ÷ Ps] x 100**

En caso que nos dan la humedad en base seca (% H b.s.) podemos hacer la conversión de base seca a base húmeda:

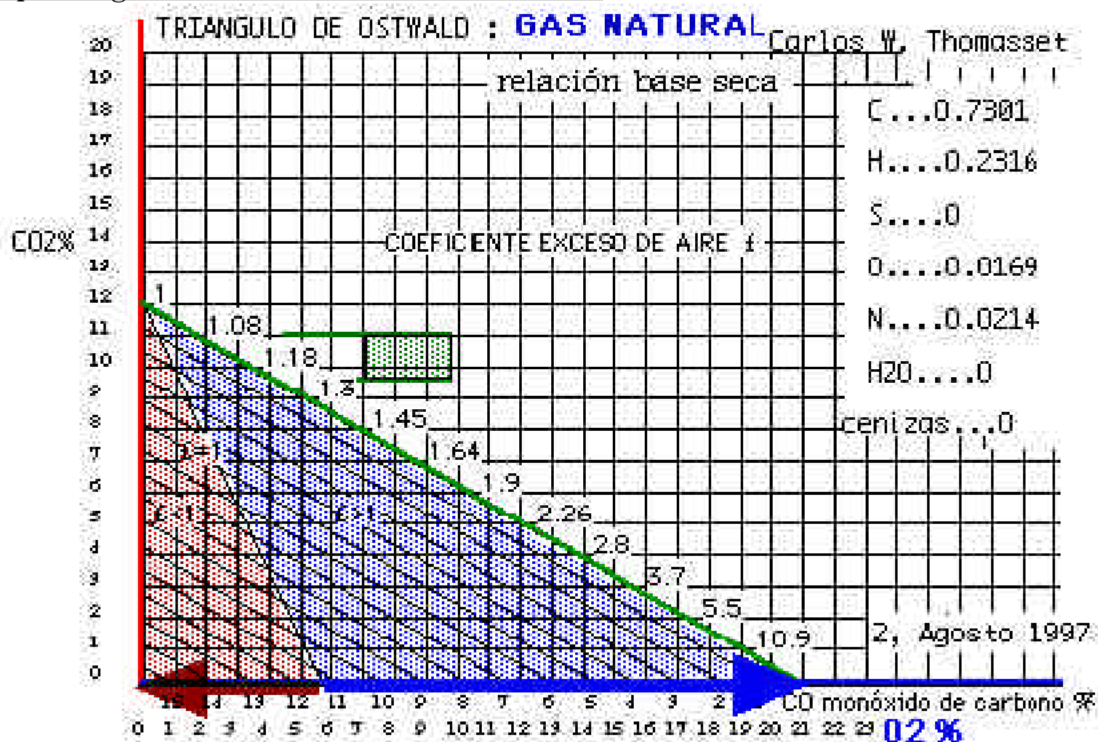
**% H b.h. = [% H b.s. ÷ (% H b.s.+100)] x 100**

Ejemplo: una leña con una humedad en base seca de % H b.s.= 25%, aplicando lo anterior % H b.h. = 25 / ( 25 +100) x 100 = 20% H b.h.. Las dos humedades significan lo mismo, pero se expresan en cantidades diferentes, por eso hay que hacer la aclaración a cual base están referidas.

**Cuadro comparativo al tomar los poderes caloríficos: superior e inferior.**




Véase que la cantidad absoluta del calor aprovechado en el vapor es la misma en ambos casos, varía el % referido a cada uno al no tener en cuenta en el P.C.I. el calor de evaporación del agua (de humedad y combustión). En apariencia el % de la eficiencia al P.C.I. es mayor que la dada con el P.C.S. <u>pero al referirla al calor absoluto aprovechado en el vapor es igual. Vemos en este caso el de la leña.</u>



**En resumen:**

**Para mejorar cada una de las eficiencias estudiadas se debe hacer lo siguiente:**

**Para mejorar eficiencia de la combustión**: Disminuir al máximo el exceso de aire necesario para la combustión y las penetraciones de aires por juntas o filtraciones de la estructura de la caldera, disminuir las pérdidas por gases no quemados mejorando las condiciones de combustión (atomización, temperatura del combustible y aire, mezcla de combustible y aire, humedad del combustible, temperatura de la combustión o zona donde se produce la combustión, etc.), limpieza de superficies de transferencia térmica (El hollín y la ceniza son muy aislantes, se deben de limpiar los tubos y hogares en forma periódica. Mantener la superficies del lado del agua y vapor limpia de incrustaciones y barros aislantes, haciendo un correcto tratamiento químico. Aprovechar al máximo la superficie de transferencia del hogar ajustando la llama en el lugar correcto para la finalización de su combustión, etc.).

**Para mejorar eficiencia de la caldera como equipo térmico**: en este caso debemos de buscar la forma que la caldera no pierda calor a la sala de caldera por la aislación y su estructura, no permitir fugas de agua o vapor (por los vástagos de las válvulas, tapillas, empaquedaduras de bombas, etc.), buscar la mejor calidad de agua para evitar el purgar % altos (retornar el máximo de condensado, hacer el tratamiento químico interno adecuadamente, etc) o de lo contrario usar al máximo la purga continua con recuperación del calor por medio de intercambiadores.

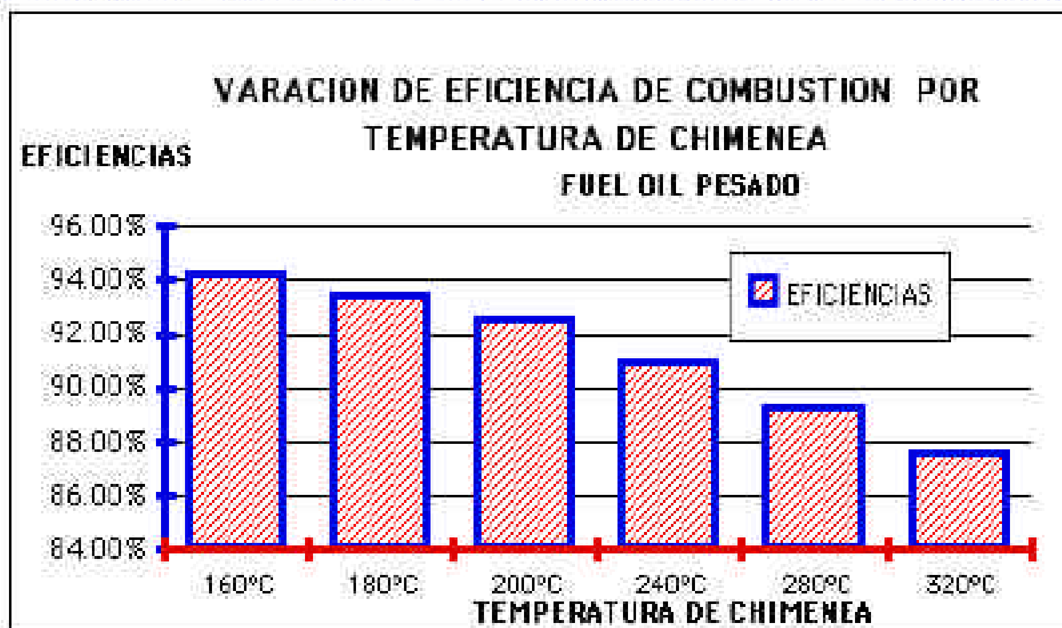
**Cualquiera de las mejoras anteriores repercutirá en la mejora de la Eficiencia total.**

Recuerde de referirse a las eficiencias para un mismo poder calorífico (**P.C.S. o P.C.I.**), ya que si bien las cantidades expresadas como % son numéricamente diferentes, no así al significado al referirse a cada poder calorífico, evitando que su interpretación numérica se preste a confusión.

Es conveniente al expresar las eficiencias referirlas al P.C.I., de esta manera juzgamos más adecuadamente la eficiencia propia de la caldera, ya que en este caso no juzgamos mayormente la condición del combustible (es decir, el contenido de hidrógeno que formará agua y el contenido de agua como humedad que pueda traer el mismo). De esta manera podemos comparar calderas refiriéndonos a su propia eficiencia prescindiendo en parte de la calidad del combustible.

**Cuando estamos expresando las eficiencias referidas al P.C.S., estamos involucrando la calidad del combustible. Por ello al comparar calderas con eficiencias medidas al P.C.S. en realidad estamos comparando calidades de combustibles mas que calidades de calderas, ya que las diferencias en % son más notorias por el combustible que por la caldera en sí.**

**A mayor temperatura en chimenea, aumenta las pérdidas.**




## TABLAS DE CALCULO RÁPIDO DE EFICIENCIAS DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIAS . (Calculadas por el autor).

Las tablas que siguen en las páginas siguientes, permiten calcular la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA AL P.C.I. a partir de la medida del CO2 o el O2** (si utilizamos la reglilla auxiliar)**.**

Recordar que en este caso las tablas responden a medidas de CO2 libres de monóxido de carbono (CO) u otros gases sin quemar, o sea a combustión completa.

Ya que el CO2 en general es el más fácil de medir con un FYRITE u ORSAT, y la temperatura de chimenea con un termómetro de hasta 500ºC del tipo dial o electrónico (puesto en la chimenea) y la temperatura ambiente con un termómetro común de ambiente.

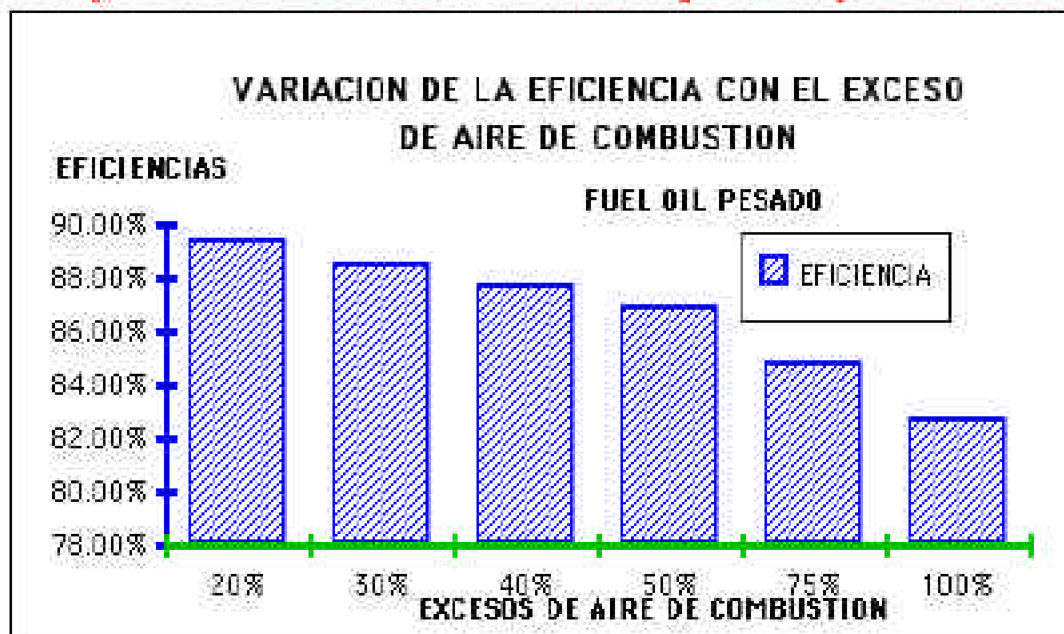
Las siguientes tablas están calculadas para combustibles promedios y en el caso de la leña, la misma con una humedad en base húmeda de 25% (de 6 meses a un año de estacionamiento, dependiendo de la época del año, otros valores hay que calcularlos).

Medir el CO2 de los gases, la temperatura de chimenea y la ambiente. Restar a la temperatura de chimenea la temperatura ambiente (esto dará el salto térmico o sea la temperatura de lo que perdemos por el calentamiento de los gases de chimenea).

En la tabla indicada, entramos por la izquierda el valor del CO2 y por la parte superior la diferencia de temperatura, la unión de la lectura del CO2 en la horizontal con respecto a la temperatura en la vertical, dará la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA REFERIDA AL P.C.I.** (Poder calorífico inferior).

Para ver que exceso de aire tenemos, referirnos a las curvas de CO2 u O2 , o a los **triángulos de OSTWALD para cada combustible,** que están en el libro o en la **tablas auxiliares** ( a continuación de las referidas al cálculo). Pudiendo **recortar las tablas** (fotocopiar y recortar) y utilizando las **tablas** siguientes correspondientes a cada combustible, recortar el hueco correspondiente (indicado por punteado) en las **tablas auxiliares**, en donde podremos "encajar" en la parte inferior la tabla correspondiente (o sea del mismo combustible) y con ello además del cálculo de la Eficiencia de Combustión y Transferencia, obtendremos los **excesos de aire** correspondientes a cada lectura de **CO2** y además el exceso de **O2** (oxígeno). También si tenemos un medidor de O2 en lugar del medidor de CO2, podremos entrar a cada tabla.

A mayor exceso de aire, aumenta la pérdida por chimenea.



**Ver el procedimiento inferior para proceder a la utilización de las reglillas.**

FOTOCOPIAR PARA PODER RECORTAR LAS REGLAS DE CALCULO

**REGLA DE CALCULO EFICIENCIA**

| EFICIENCIA COMBUSTION = | P.C.I. | F.Oil Pc Kcal/kg | | 9490 | | Carlos W. Thomasset 1994 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. |
| | 140 ºC | 160 ºC | 180 ºC | 200 ºC | 220 ºC | 240 ºC | 260 ºC | 280 ºC | 300 ºC | 320 ºC |
| $CO_2=16\%$ | 94,6% | 93,8% | 93,0% | 92,2% | 91,4% | 90,6% | 89,8% | 89,0% | 88,2% | 87,4% |
| $CO_2=15\%$ | 94,3% | 93,5% | 92,6% | 91,8% | 91,0% | 90,1% | 89,3% | 88,4% | 87,5% | 86,7% |
| $CO_2=14\%$ | 94,0% | 93,1% | 92,2% | 91,3% | 90,4% | 89,5% | 88,6% | 87,7% | 86,8% | 85,9% |
| $CO_2=13\%$ | 93,6% | 92,6% | 91,7% | 90,7% | 89,8% | 88,8% | 87,9% | 86,9% | 85,9% | 84,9% |
| $CO_2=12\%$ | 93,1% | 92,1% | 91,1% | 90,1% | 89,0% | 88,0% | 87,0% | 86,0% | 84,9% | 83,9% |
| $CO_2=11\%$ | 92,5% | 91,3% | 90,4% | 89,3% | 88,2% | 87,1% | 86,0% | 84,8% | 83,7% | 82,6% |
| $CO_2=10\%$ | 91,9% | 90,7% | 89,5% | 88,3% | 87,1% | 85,9% | 84,7% | 83,5% | 82,3% | 81,0% |
| $CO_2=9\%$ | 91,1% | 89,8% | 88,5% | 87,2% | 85,8% | 84,5% | 83,2% | 81,9% | 80,5% | 79,2% |
| $CO_2=8\%$ | 90,1% | 88,6% | 87,2% | 85,7% | 84,3% | 82,8% | 81,3% | 79,9% | 78,3% | 76,9% |
| $CO_2=7\%$ | 88,8% | 87,1% | 85,5% | 83,8% | 82,2% | 80,5% | 78,9% | 77,2% | 75,5% | 73,8% |
| $CO_2=6\%$ | 87,0% | 85,1% | 83,2% | 81,3% | 79,4% | 77,5% | 75,6% | 73,7% | 71,7% | 69,8% |
| $CO_2=5\%$ | 84,6% | 82,4% | 80,1% | 77,9% | 75,6% | 73,3% | 71,0% | 68,7% | 66,4% | 64,1% |

leer por debajo
columna diferencia
temperatura

**CORTAR**

el hueco de la reglilla inferior
permite introducir por debajo
y leer los valores de la regla
de cálculo de Eficiencia, agregando
los valores de exceso de aire y el
exceso de O2 (oxígeno).

**UTILIZAR IGUAL COMBUSTIBLE**
**EN AMBAS REGLAS.**

F.OIL PESADO

| P. Caloríficos | CORTAR, VENTANILLA REGLA | Exc. Aire | Exc. O2 |
|---|---|---|---|
| Temperatura | | | |
| $CO_2=16\%$ | | 4% | 0,9% |
| $CO_2=15\%$ | | 11% | 2,1% |
| $CO_2=14\%$ | | 18% | 3,4% |
| $CO_2=13\%$ | | 27% | 4,6% |
| $CO_2=12\%$ | | 37% | 5,9% |
| $CO_2=11\%$ | | 49% | 7,2% |
| $CO_2=10\%$ | | 63% | 8,4% |
| $CO_2=9\%$ | | 81% | 9,7% |
| $CO_2=8\%$ | | 103% | 10,9% |
| $CO_2=7\%$ | | 131% | 12,2% |
| $CO_2=6\%$ | | 169% | 13,5% |
| $CO_2=5\%$ | | 223% | 14,7% |

**Luego calcular el ahorro.**

El ahorro en % en la unión de
las verticales con las horizontales

POSIBLE AHORRO AL MEJORAR CONDICIONES DE COMBUSTION
Y TRANSFERENCIA

| | Eficiencias mejoradas: | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eficiencias | 80% | 82% | 84% | 86% | 88% | 90% | 92% |
| a mejorar: | Ahorro de F. Oil pesado. | | | | | | |
| 60% | 25,0% | 26,8% | 28,6% | 30,2% | 31,8% | 33,3% | 34,8% |
| 62% | 22,5% | 24,4% | 26,2% | 27,9% | 29,5% | 31,1% | 32,6% |
| 64% | 20,0% | 22,0% | 23,8% | 25,6% | 27,3% | 28,9% | 30,4% |
| 66% | 17,5% | 19,5% | 21,4% | 23,3% | 25,0% | 26,7% | 28,3% |
| 68% | 15,0% | 17,1% | 19,0% | 20,9% | 22,7% | 24,4% | 26,1% |
| 70% | 12,5% | 14,6% | 16,7% | 18,6% | 20,5% | 22,2% | 23,9% |
| 72% | 10,0% | 12,2% | 14,3% | 16,3% | 18,2% | 20,0% | 21,7% |
| 74% | 7,5% | 9,8% | 11,9% | 14,0% | 15,9% | 17,8% | 19,6% |
| 76% | 5,0% | 7,3% | 9,5% | 11,6% | 13,6% | 15,6% | 17,4% |
| 78% | 2,5% | 4,9% | 7,1% | 9,3% | 11,4% | 13,3% | 15,2% |
| 80% | 0,0% | 2,4% | 4,8% | 7,0% | 9,1% | 11,1% | 13,0% |

Ahorro en %
posible del
combustible
bajando el
exceso de aire
o la temperatura
de chimenea

## GAS NATURAL P.C.I.

| EFICIENCIA COMBUSTION = P.C.I. | GasNatural Kcal/kgr. 11500 | | | | | Carlos W. Thomasset 1998 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. |
| | *140 ºC* | *160 ºC* | *180 ºC* | *200 ºC* | *220 ºC* | *240 ºC* | *260 ºC* | *280 ºC* | *300 ºC* | *320 ºC* |
| CO2 =11,5% | 94,3% | 93,5% | 92,6% | 91,8% | 90,9% | 90,1% | 89,2% | 88,4% | 87,5% | 86,6% |
| CO2 =11,0% | 94,1% | 93,2% | 92,4% | 91,5% | 90,6% | 89,7% | 88,9% | 88,0% | 87,1% | 86,2% |
| CO2 =10,5% | 93,9% | 93,0% | 92,1% | 91,2% | 90,3% | 89,4% | 88,4% | 87,5% | 86,6% | 85,6% |
| CO2 =10,0% | 93,6% | 92,7% | 91,8% | 90,8% | 89,9% | 88,9% | 88,0% | 87,0% | 86,0% | 85,1% |
| CO2 =9,5% | 93,4% | 92,4% | 91,4% | 90,4% | 89,4% | 88,5% | 87,5% | 86,5% | 85,5% | 84,4% |
| CO2 =9,0% | 93,1% | 92,0% | 91,0% | 90,0% | 89,0% | 87,9% | 86,9% | 85,8% | 84,8% | 83,7% |
| CO2 =8,5% | 92,7% | 91,6% | 90,6% | 89,5% | 88,4% | 87,3% | 86,3% | 85,2% | 84,1% | 83,0% |
| CO2 =8,0% | 92,3% | 91,2% | 90,1% | 89,0% | 87,8% | 86,7% | 85,5% | 84,4% | 83,2% | 82,1% |
| CO2 =7,5% | 91,9% | 90,7% | 89,5% | 88,3% | 87,1% | 85,9% | 84,7% | 83,5% | 82,3% | 81,1% |
| CO2 =7,0% | 91,4% | 90,2% | 88,9% | 87,6% | 86,4% | 85,1% | 83,8% | 82,5% | 81,2% | 79,9% |
| CO2 =6,5% | 90,8% | 89,5% | 88,2% | 86,8% | 85,5% | 84,1% | 82,7% | 81,4% | 80,0% | 78,6% |
| CO2 =6,0% | 90,2% | 88,7% | 87,3% | 85,9% | 84,4% | 83,0% | 81,5% | 80,0% | 78,5% | 77,1% |

## LEÑA CON 25% H.b.h. P.C.I.

| EFICIENCIA COMBUSTION P.C.I.= | Leña Kcal/kgr. 3080 | | | | | Carlos W. Thomasset 1991 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Humedad | 25% | 25% | 25% | 25% | 25% | 25% | 25% | 25% | 25% | 25% |
| | *140 ºC* | *160 ºC* | *180 ºC* | *200 ºC* | *220 ºC* | *240 ºC* | *260 ºC* | *280 ºC* | *300 ºC* | *320 ºC* |
| *CO2=19%* | 92,6% | 91,5% | 90,4% | 89,3% | 88,1% | 87,0% | 85,9% | 84,8% | 83,6% | 82,5% |
| *CO2=18%* | 92,3% | 91,1% | 90,0% | 88,8% | 87,7% | 86,5% | 85,3% | 84,2% | 83,0% | 81,8% |
| *CO2=17%* | 91,9% | 90,8% | 89,6% | 88,4% | 87,2% | 86,0% | 84,7% | 83,5% | 82,3% | 81,0% |
| *CO2=16%* | 91,6% | 90,3% | 89,1% | 87,8% | 86,6% | 85,3% | 84,0% | 82,8% | 81,5% | 80,2% |
| *CO2=15%* | 91,2% | 89,9% | 88,6% | 87,2% | 85,9% | 84,6% | 83,3% | 81,9% | 80,6% | 79,2% |
| *CO2=14%* | 90,7% | 89,3% | 87,9% | 86,6% | 85,2% | 83,8% | 82,4% | 81,0% | 79,5% | 78,1% |
| *CO2=13%* | 90,1% | 88,7% | 87,2% | 85,8% | 84,3% | 82,8% | 81,3% | 79,8% | 78,3% | 76,8% |
| *CO2=12%* | 89,5% | 88,0% | 86,4% | 84,9% | 83,3% | 81,7% | 80,1% | 78,6% | 77,0% | 75,4% |
| *CO2=11%* | 88,7% | 87,1% | 85,4% | 83,8% | 82,1% | 80,4% | 78,7% | 77,0% | 75,3% | 73,6% |
| *CO2=10%* | 87,8% | 86,0% | 84,3% | 82,5% | 80,7% | 78,8% | 77,0% | 75,2% | 73,3% | 71,5% |
| *CO2=9%* | 86,7% | 84,8% | 82,8% | 80,9% | 78,9% | 76,9% | 74,9% | 72,9% | 70,9% | 68,9% |
| *CO2=8%* | 85,3% | 83,2% | 81,0% | 78,9% | 76,7% | 74,5% | 72,3% | 70,1% | 67,9% | 65,7% |

F.Oil CALEFACCION P.C.I. F.Oil PESADO CRACKING P.C.I.

| EFICIENCIA COMBUSTION = | | | P.C.I. | F.Oil Ca | Kcal/kgr. | 10420 | Carlos W. Thomasset 1990 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. |
| | 140 ºC | 160 ºC | 180 ºC | 200 ºC | 220 ºC | 240 ºC | 260 ºC | 280 ºC | 300 ºC | 320 ºC |
| CO2=15% | 94,7% | 93,9% | 93,1% | 92,3% | 91,5% | 90,7% | 89,9% | 89,1% | 88,3% | 87,5% |
| CO2=14% | 94,3% | 93,5% | 92,7% | 91,8% | 91,0% | 90,2% | 89,3% | 88,5% | 87,6% | 86,7% |
| CO2=13% | 94,0% | 93,1% | 92,2% | 91,3% | 90,4% | 89,5% | 88,6% | 87,7% | 86,8% | 85,9% |
| CO2=12% | 93,5% | 92,6% | 91,6% | 90,7% | 89,7% | 88,8% | 87,8% | 86,8% | 85,9% | 84,9% |
| CO2=11% | 93,0% | 92,0% | 91,0% | 90,0% | 88,9% | 87,9% | 86,8% | 85,8% | 84,7% | 83,7% |
| CO2=10% | 92,4% | 91,3% | 90,2% | 89,1% | 88,0% | 86,8% | 85,7% | 84,6% | 83,4% | 82,3% |
| CO2=9% | 91,7% | 90,4% | 89,2% | 88,0% | 86,8% | 85,5% | 84,3% | 83,0% | 81,8% | 80,5% |
| CO2=8% | 90,7% | 89,4% | 88,0% | 86,7% | 85,3% | 83,9% | 82,5% | 81,2% | 79,8% | 78,4% |
| CO2=7% | 89,5% | 88,0% | 86,5% | 84,9% | 83,4% | 81,8% | 80,3% | 78,7% | 77,1% | 75,6% |
| CO2=6% | 87,9% | 86,2% | 84,4% | 82,6% | 80,9% | 79,1% | 77,3% | 75,5% | 73,7% | 71,8% |
| CO2=5% | 85,7% | 83,6% | 81,5% | 79,4% | 77,3% | 75,2% | 73,1% | 70,9% | 68,8% | 66,6% |
| CO2=4% | 82,3% | 79,7% | 77,2% | 74,6% | 72,0% | 69,4% | 66,7% | 64,1% | 61,5% | 58,8% |

| EFICIENCIA COMBUSTION = | | | P.C.I. | F.Oil Pe | Kcal/kgr. | 9490 | Carlos W. Thomasset 1994 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. | P.C.I. |
| | 140 ºC | 160 ºC | 180 ºC | 200 ºC | 220 ºC | 240 ºC | 260 ºC | 280 ºC | 300 ºC | 320 ºC |
| CO2=16% | 94,6% | 93,8% | 93,0% | 92,2% | 91,4% | 90,6% | 89,8% | 89,0% | 88,2% | 87,4% |
| CO2=15% | 94,3% | 93,5% | 92,6% | 91,8% | 91,0% | 90,1% | 89,3% | 88,4% | 87,5% | 86,7% |
| CO2=14% | 94,0% | 93,1% | 92,2% | 91,3% | 90,4% | 89,5% | 88,6% | 87,7% | 86,8% | 85,9% |
| CO2=13% | 93,6% | 92,6% | 91,7% | 90,7% | 89,8% | 88,8% | 87,9% | 86,9% | 85,9% | 84,9% |
| CO2=12% | 93,1% | 92,1% | 91,1% | 90,1% | 89,0% | 88,0% | 87,0% | 86,0% | 84,9% | 83,9% |
| CO2=11% | 92,5% | 91,5% | 90,4% | 89,3% | 88,2% | 87,1% | 86,0% | 84,8% | 83,7% | 82,6% |
| CO2=10% | 91,9% | 90,7% | 89,5% | 88,3% | 87,1% | 85,9% | 84,7% | 83,5% | 82,3% | 81,0% |
| CO2=9% | 91,1% | 89,8% | 88,5% | 87,2% | 85,8% | 84,5% | 83,2% | 81,9% | 80,5% | 79,2% |
| CO2=8% | 90,1% | 88,6% | 87,2% | 85,7% | 84,2% | 82,8% | 81,3% | 79,8% | 78,3% | 76,8% |
| CO2=7% | 88,8% | 87,1% | 85,5% | 83,8% | 82,2% | 80,5% | 78,9% | 77,2% | 75,5% | 73,8% |
| CO2=6% | 87,0% | 85,1% | 83,2% | 81,3% | 79,4% | 77,5% | 75,6% | 73,7% | 71,7% | 69,8% |
| CO2=5% | 84,6% | 82,4% | 80,1% | 77,9% | 75,6% | 73,3% | 71,0% | 68,7% | 66,4% | 64,1% |

**F.OIL PESADO**

| P .Calorífico | CORTAR , VENTANILLA REGLA | Exc.Aire | Exc. 02 |
|---|---|---|---|
| Temperatura | | | |
| C02=16% | | 4% | 0,9% |
| C02=15% | | 11% | 2,1% |
| C02=14% | | 18% | 3,4% |
| C02=13% | | 27% | 4,6% |
| C02=12% | | 37% | 5,9% |
| C02=11% | | 49% | 7,2% |
| C02=10% | | 63% | 8,4% |
| C02=9% | | 81% | 9,7% |
| C02=8% | | 103% | 10,9% |
| C02=7% | | 131% | 12,2% |
| C02=6% | | 169% | 13,5% |
| C02=5% | | 222% | 14,7% |

**LEÑA**

| Humedad | CORTAR , VENTANILLA REGLA | Exc.Aire | Exc. 02 |
|---|---|---|---|
| Temperatura | | | |
| C02=19% | | 2% | 0,4% |
| C02=18% | | 8% | 1,5% |
| C02=17% | | 14% | 2,6% |
| C02=16% | | 21% | 3,7% |
| C02=15% | | 29% | 4,8% |
| C02=14% | | 38% | 5,8% |
| C02=13% | | 48% | 6,9% |
| C02=12% | | 60% | 8,0% |
| C02=11% | | 75% | 9,1% |
| C02=10% | | 92% | 10,2% |
| C02=9% | | 113% | 11,3% |
| C02=8% | | 140% | 12,3% |

**F.OIL CALEFACCION**

| P .Calorífico | CORTAR , VENTANILLA REGLA | Exc.Aire | Exc. 02 |
|---|---|---|---|
| Temperatura | | | |
| C02=15% | | 5% | 1,0% |
| C02=14% | | 12% | 2,4% |
| C02=13% | | 20% | 3,7% |
| C02=12% | | 30% | 5,0% |
| C02=11% | | 41% | 6,4% |
| C02=10% | | 54% | 7,7% |
| C02=9% | | 71% | 9,0% |
| C02=8% | | 91% | 10,4% |
| C02=7% | | 118% | 11,7% |
| C02=6% | | 153% | 13,0% |
| C02=5% | | 202% | 14,3% |
| C02=4% | | 276% | 15,7% |

**GAS NATURAL**

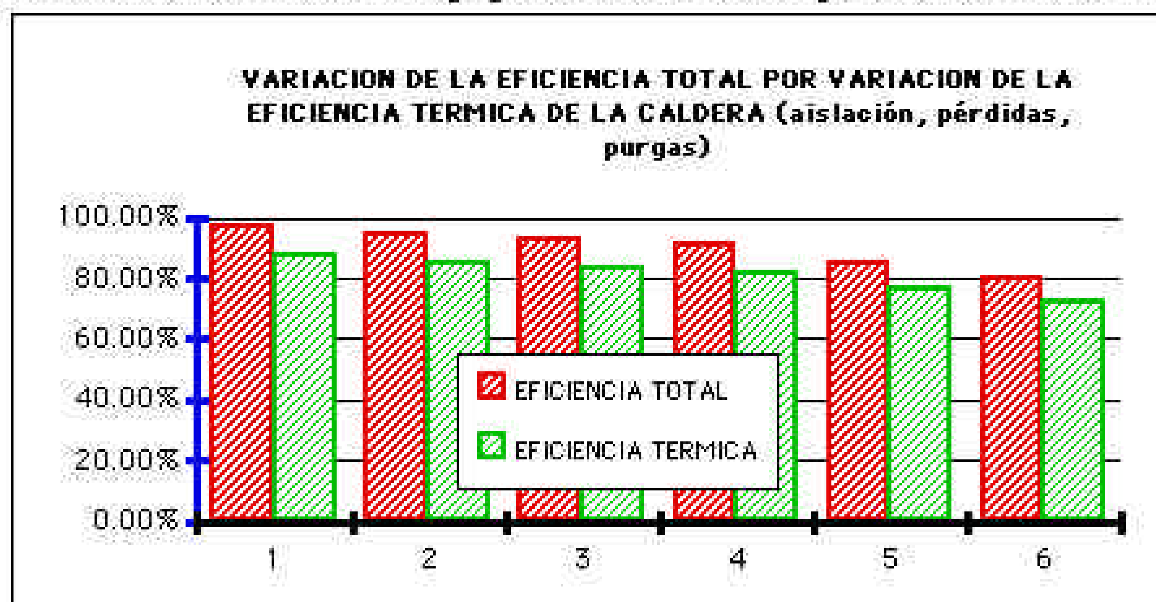
| P .Calorífico | CORTAR , VENTANILLA REGLA | Exc.Aire | Exc. 02 |
|---|---|---|---|
| Temperatura | | | |
| CO2 =11,5% | | 4% | 0,9% |
| CO2 =11,0% | | 8% | 1,8% |
| CO2 =10,5% | | 13% | 2,7% |
| CO2 =10,0% | | 18% | 3,5% |
| CO2 =9,5% | | 24% | 4,4% |
| CO2 =9,0% | | 30% | 5,3% |
| CO2 =8,5% | | 37% | 6,1% |
| CO2 =8,0% | | 45% | 7,0% |
| CO2 =7,5% | | 54% | 7,9% |
| CO2 =7,0% | | 64% | 8,8% |
| CO2 =6,5% | | 76% | 9,6% |
| CO2 =6,0% | | 90% | 10,5% |

Una vez que se ha leído la EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA, se puede comparar la misma con la eficiencia de una caldera de mayor eficiencia o con mejores valores de chimenea de la misma caldera (disminuyendo el exceso de aire o la temperatura de chimenea , luego de una limpieza de hollín o de incrustaciones, o reparaciones de la distribución interna de los gases, etc, lo que mejora la transferencia). **con la tabla siguiente**(pg. siguiente) entrar con los valores de lectura obtenida en la **columna de la izquierda** y luego buscando el valor deseado en la **horizontal superio**r, buscar en la **intersección de ambas**, el **ahorro** correspondiente. Este ahorro nos permite comparar calderas o la caldera misma en mejores situaciones.

POSIBLE AHORRO AL MEJORAR CONDICIONES DE COMBUSTION
Y TRANSFERENCIA

| | Eficiencias mejoradas: | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eficiencias | 80% | 82% | 84% | 86% | 88% | 90% | 92% |
| a mejorar: | **Ahorro de combustible** | | | | | | |
| 60% | 25,0% | 26,8% | 28,6% | 30,2% | 31,8% | 33,3% | 34,8% |
| 62% | 22,5% | 24,4% | 26,2% | 27,9% | 29,5% | 31,1% | 32,6% |
| 64% | 20,0% | 22,0% | 23,8% | 25,6% | 27,3% | 28,9% | 30,4% |
| 66% | 17,5% | 19,5% | 21,4% | 23,3% | 25,0% | 26,7% | 28,3% |
| 68% | 15,0% | 17,1% | 19,0% | 20,9% | 22,7% | 24,4% | 26,1% |
| 70% | 12,5% | 14,6% | 16,7% | 18,6% | 20,5% | 22,2% | 23,9% |
| 72% | 10,0% | 12,2% | 14,3% | 16,3% | 18,2% | 20,0% | 21,7% |
| 74% | 7,5% | 9,8% | 11,9% | 14,0% | 15,9% | 17,8% | 19,6% |
| 76% | 5,0% | 7,3% | 9,5% | 11,6% | 13,6% | 15,6% | 17,4% |
| 78% | 2,5% | 4,9% | 7,1% | 9,3% | 11,4% | 13,3% | 15,2% |
| 80% | 0,0% | 2,4% | 4,8% | 7,0% | 9,1% | 11,1% | 13,0% |

A menor Eficiencia como equipo térmico, disminuye la Eficiencia Total.



# 10-LA ELECTRICIDAD APLICADA A LA CALDERA

Los comandos y controles automáticos, las alarmas, las bombas de alimentación de agua, las bombas de combustible, los ventiladores (forzadores y tiros inducidos), etc. son normalmente (hoy en día) basados en el uso de la electricidad. Antiguamente las calderas utilizaban la fuerza del mismo vapor y el control del hombre.

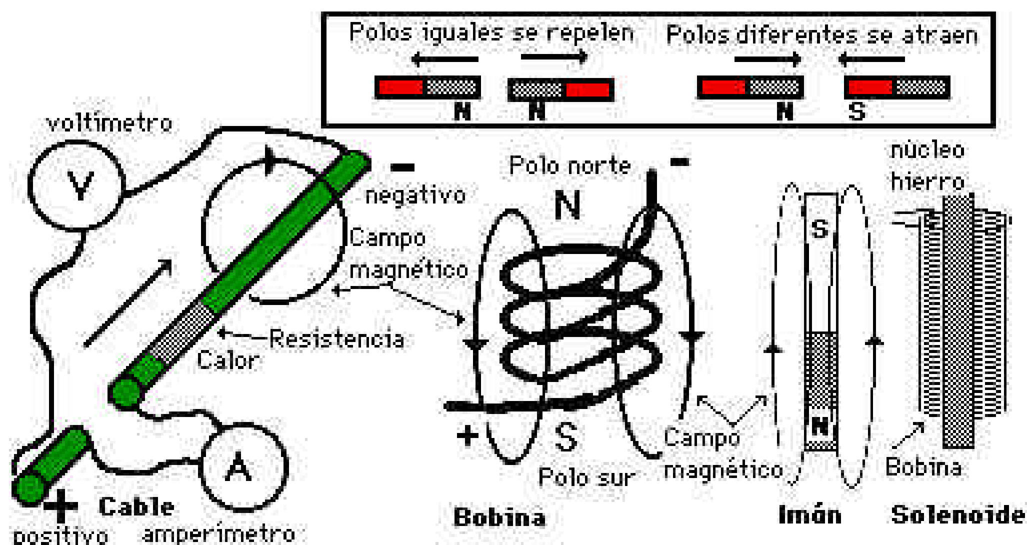
La **electricidad** la podemos definir: como la **utilización de los fenómenos que provoca la circulación de los electrones** en los materiales conductores y semiconductores. Hay materiales por los cuales circula la electricidad: **Conductores** (oro, plata, cobre, aluminio, hierro, o sea, casi todos los metales, también el agua que contenga sales que se ionizan, etc., Se usan para transportar la electricidad y poder utilizar su fuerza: conductores o cables eléctricos). Los materiales en que circula con dificultad la electricidad son los: **Semiconductores** (metaloides o materiales que apenas conducen los electrones al tener impurezas de otros materiales: silicio, germanio, etc.. se usan en electrónica para fabricar transistores, diodos, "chips" , etc.). Por los que no circulan los electrones son los: **Aislantes** (no permiten el paso de los electrones, sirven para "aislar" o no permitir la "perdida o escape" de los electrones desde los materiales que los conducen: el"forro" de los cables, la cinta aisladora, los plásticos, la micarta, el barniz aislantes, la madera seca, etc.).

El **voltaje** (diferencia de potencial): es la fuerza con que son "impulsados" esos electrones (así como la altura de un tanque de agua sobre la canilla, es la que da la "presión" o "fuerza" con que sale el agua de la misma) . Se mide con un **voltímetro** y se usa como unidad el **voltio**. El **amperaje** (corriente o intensidad): es la "cantidad de electricidad o de electrones" que pasa en un tiempo por un cable conductor (así como si midiéramos los litros por segundo de agua que salen por la canilla), se mide con un **amperímetro** y su unidad es el **amperio**.

Multiplicando los dos valores anteriores el resultado es la **potencia**, que se mide en **vatios** (**w**) o **Kilovatios** (**Kw= 1000 vatios**) esto nos da la idea de la capacidad de trabajo que puede efectuar un suministro de un voltaje y un amperaje dados.

La **corriente eléctrica** que se le ha fijado un **sentido de circulación**: de **positivo a negativo** ( + a - , cuando en la realidad los electrones van de negativo a positivo), esta corriente puede ser **continua o alterna** (en la primera los electrones van siempre en el mismo sentido: un batería de auto, pila, etc. En la segunda los electrones van un período de tiempo hacía un lado y otro período a la inversa: como la que suministra un alternador o la corriente que suministra la UTE, que es de 50 ciclos por segundos, es decir que cambia de sentido 50 veces por segundo para cada lado).

Cuando hablamos de un suministro de corriente para definirla debemos decir en cada caso: si es **corriente continua,** el **voltaje** y el **amperaje** disponible o deseable. Pero si hablamos de **corriente alterna** debemos establecer el **voltaje**, el **amperaje** y la **frecuencia** (ciclos o períodos por segundos o Hercios).




**Propiedades útiles de la electricidad**:

Cuando pasa corriente eléctrica por un cable conductor se producen dos cosas importantes: **calor** y un **campo magnético.** (El calor es el choque de los electrones con los átomos que forman el cable, este calor es mayor cuanto más cantidad de electrones pasemos por el cable y a la resistencia que ofrezca el cable a pasar los electrones: esta propiedad se llama **resistencia eléctrica** de los materiales conductores). La **resistencia** eléctrica es una **propiedad de cada material**, pero también depende de la **sección del cable** y del **largo del cable** (un material buen conductor tiene baja resistencia, poniendo la lista de menor a mayor resistencia específica tenemos al : oro, plata, cobre, aluminio, hierro, etc. . Un cable grueso tiene menor resistencia que un cable fino, un cable largo tiene mayor resistencia que uno corto de la misma sección). Esta resistencia eléctrica nos perjudica para transportar la electricidad o utilizarla en usos magnéticos (solenoides, motores, etc), pero nos sirve para transformar la **energía eléctrica en calor** (calefones, calentadores de F.Oíl, calderas eléctricas, luz incandescentes, etc.).

Los cables para el transporte de electricidad son generalmente de cobre (o de aluminio en algunos casos), deben de ser lo suficientemente "gruesos" ( sección) de manera de no perder "potencia" o voltaje al llevar la corriente de un lugar a otro y más grueso cuanto más alejado esté (esto está regido por la ley de **Ohm**: que dice que el **amperaje** que circula por un conductor es mayor a mayor **voltaje** y menor a mayor **resistencia**: **A=V/R**).

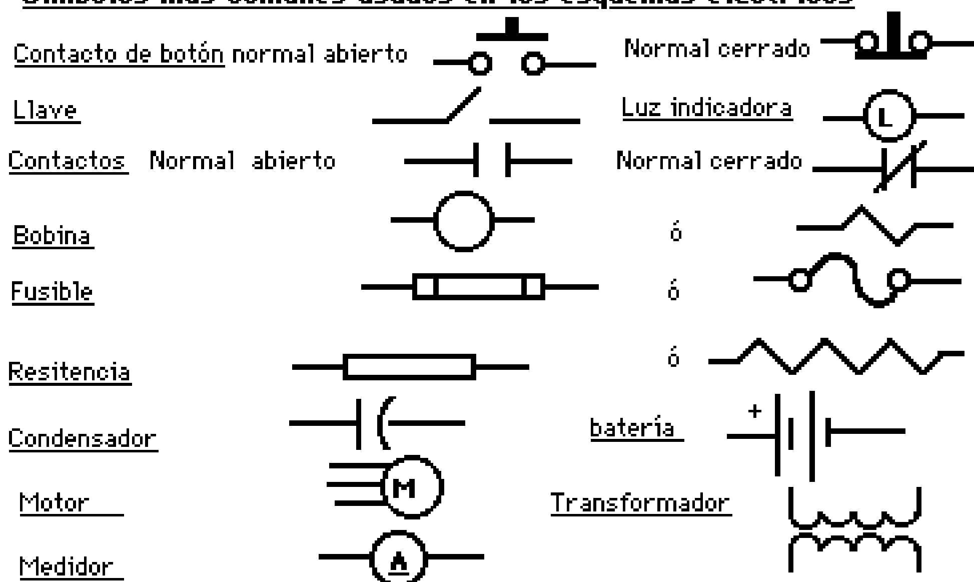
También la electricidad **(los electrones al circular)** provocan que se forme un **campo magnético** (el imán es un metal: hierro, que forma un campo magnético con un polo norte y un polo sur estacionario, sabemos que en los imanes se atraen entre sí los polos opuestos y que ademas atraen a los materiales magnéticos como el hierro, que al imantarse se comportan como imanes), este campo magnético que se forma es **más fuerte** a medida que **aumentamos la corriente** y podemos aumentarlo **arrollando el cable** para concentrar estos campos , y aún aumentarlo más haciendo que el cable tenga en su **centro un material que se magnetice fácilmente como el hierro**. Cuando tenemos un cable arrollado para aumentar su campo magnético se llama **bobina** y cuando esta tenga un **núcleo** o hierro central será una **solenoide.** (hay materiales magnéticos, es decir de fácil magnetización como el hierro; hay materiales que no son magnéticos o pocos o nada imantables como el acero inoxidable, el cobre, etc.). El campo magnético formado podrá ser continuo o alterno, según sea la corriente que los forme. La aplicación de estos campos son muy útiles, hacen funcionar: una válvula de solenoide, la solenoide de un contactor, el motor eléctrico, etc.

Los motores eléctricos funcionan por la rotación (o atracción y repulsión) de los campos magnéticos provocados por la corriente en sus bobinados. **A la inversa:** cuando un **conductor** es "**cortado**" por un campo magnético en movimiento o está sometido a un **campo magnético que varía**, se produce una corriente eléctrica por inducción. Esto se aplica a los generadores, alternadores, transformadores, etc.

**La seguridad en el uso de la corriente eléctrica:**

**La corriente eléctrica debe ser tratada con mucho cuidado y respecto**, ya que a **un determinado voltaje es capaz de matar a una persona** (a veces con voltajes inferiores a 100 voltios, alternos o continuos, **al pasar una pequeña corriente eléctrica por el corazón humano** lo puede detener al provocar una contracción del músculo. El voltaje para que esto sea suficiente depende de las condiciones del "choque eléctrico", la persona mojada o con zapatos de suela clavada esta más expuesta, etc.). Con voltajes altos al circular la corriente por el cuerpo humano, no sólo lo contrae, sino que lo "quema". Aún en los bajos voltajes puede ser un peligro el "corto-circuito", esto significa unir dos polos de corriente que al ser tan baja la resistencia provoca una "explosición de calor" (por la elevada corriente) que nos puede quemar (caso de unir dos polos de una batería con un cable grueso o una herramienta de metal, se produce una corriente tan alta que produce un chispazo que quema y que puede hacer explotar la batería por desprendimiento de gases y calor)**.**

**La electricidad debe ser tratada con conocimiento y no como "un toque-toque" haber que pasa,** ya que lo errores pueden no solo ser fatales para la vida, sino que podemos provocar fallas que pueden ser muy costosas. Para trabajar con electricidad se debe también estar en condiciones físicas; es decir**: usar zapatos con suela de goma y no estar mojados. Cortar totalmente la corriente** (sacar los fusibles) si se ha de trabajar en un circuito (**poner un cartel para evitar que alguien lo conecte mientras trabajamos**), evitar "corto-circuitar" (unir dos cables o elementos de distinta polaridad con un "puente" que conduzca la corriente fácilmente), usar la herramienta adecuada (pinzas y destornilladores con la aislación correcta).




**Elementos de los circuitos eléctricos de las calderas:**

Los circuitos eléctricos se dibujan de dos formas: a) La forma **esquemática:** es la más simple que se pueda dibujar **para entender como funciona** el circuito, es decir que se prescinde de los terminales, y la conexiones se hacen directamente entre un elemento y otro. b) La forma **diagramática** o el "cableado" del circuito: es decir que indica la posición de cada elemento en el tablero, los terminales y la posición de cada cable que interconecta. (de esta podemos "cablear" para **armar el tablero** o **seguir los cables** para encontrar las fallas). Ambos planos se deben tener siempre a mano en el tablero de comando de la caldera. Para ello debemos saber los símbolos de las representaciones en los dibujos (hay varias formas de representar un elemento de acuerdo al país de origen, hemos puesto algunos).

El **fusible**: este elemento sirve para **limitar** o evitar que al pasar demasiada **corriente** eléctrica por un cable éste se queme por el exceso de corriente, así como también proteger al circuito o equipo que nos suministra la corriente. (Es el primer elemento que encontramos al conectar cada carga eléctrica). Esta confeccionado por un conductor fino que se "calienta" al pasar la corriente y que si esta rebasa de determinado valor, el calor "funde" al conductor cortándolo.(el conductor esta normalmente sumergido en un polvo aislante de manera que el calor no se disipe demasiado rápido). Hay **fusibles rápidos y lentos** (ó entre ambos). Los **rápidos** son aquellos que apenas sobrepasa el límite de corriente : "saltan", se usan para **proteger los circuitos de control e iluminación**. Los **lentos**, permiten que la corriente sobrepase un momento el valor fijado: se usan para **proteger** los **circuitos** a los que están conectados los **motores eléctricos**, ya que estos consumen mucha corriente en el momento de arrancar. **Siempre que se "queme" un fusible debe ser investigada** la razón por la que se produjo el "corto-circuito" o "sobre-carga" y **poner el fusible del tipo y valor adecuado,** no poner fusibles o "alambres" de mayor valor (arriesgamos quemar el circuito en general). Tienen varias formas físicas: como cartuchos, tapones, etc. Los fusibles deben hacer buen "contacto", de lo contrario calientan y se funden sin que haya sobrecarga (es el primer elemento a inspeccionar siempre que exista una falla, pero antes reponerlo: investigar el porqué ha "saltado" ? ).

**Llave térmica**: Sirve para **conectar o desconectar** un circuito eléctrico como si fuera una "llave de luz", tiene además un **elemento térmico** por cada cable que conecta. que al pasar la corriente calienta un **elemento bimetálico** que actúa como disparador que abre los contactos si el amperaje supera determinado valor (**sobrecarga**). Cuando se produce una sobrecarga (amperaraje alto) esta llave "salta". Para que vuelva a poder conectarse debe esperarse un "rato" para que enfríe y se pueda apretar un botón o se oprima la palanca de cierre a la inversa para "rearmar" el automático de manera que la llave pueda cerrar sus contactos nuevamente. No sustituye para algunos casos al fusible, ya que no protege en caso de un cortocircuito debido a que pasa un tiempo relativamente largo para que se dispare.

**Llave térmica-magnética** : este interruptor es similar al anterior, pero además de accionar por sobrecarga, **acciona por cortocircuito** (en forma rápida) al tener en cada cable que la conecta un disparador magnético (solenoide disparador) que al detectar una sobrecarga rápida, el amperaje acciona un disparador mecánico. Una vez que ha "saltado por sobrecarga", se debe de rearmar, esperando si es necesario que enfrien sus elementos bimetálicos en caso que estos hubieran calentado. Es más completa que la llave anterior y sirve como llave general de un tablero que alimenta controles y motores eléctricos. No sustituye totalmente a los fusibles, el fusible siempre es una protección simple y segura.

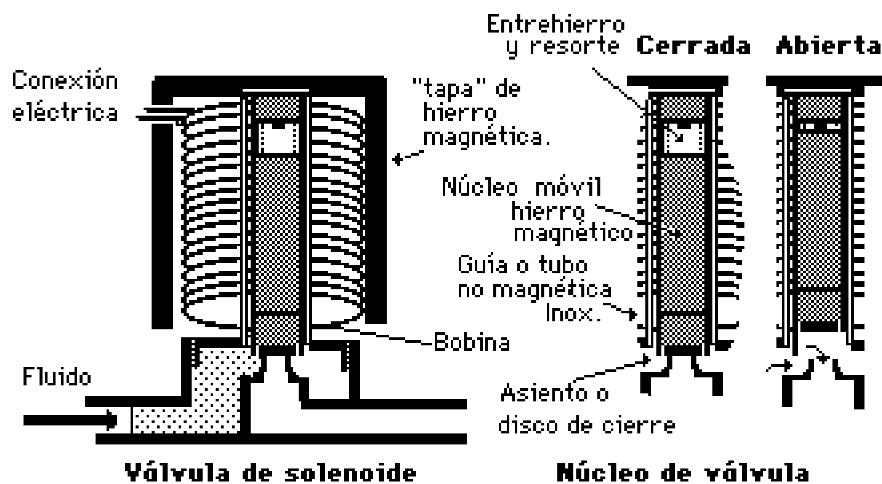
**Contactor o "arrancador"**: se puede llamar así a la **"llave" o interruptor que alimenta de corriente a un motor eléctrico**. Normalmente consiste en un juego de contactos fijos que son conectados por medio de contactos móviles que **son accionados por un bobina o solenoide** que actúa sobre un mecanismo. Esta bobina es alimentada por la corriente entre "fases" (entre conductores) através de contactos (botoneras de comando, contactos auxiliares que mantienen la bobina después que hemos soltado el "botón de arranque" (memoria) y contactos que son manipulados por los elementos térmicos-magnéticos de sobrecarga y diferencial: diferencia de corriente entre fases (protege que el motor trifásico no funcione sin una fase, marchando o en el momento del arranque, ya que por esta razón el motor puede "quemarse" por recalentamiento). El "arrancador" podrá estar formado por uno o varios contactores que pueden ir conectados de forma de provocar desde un "arranque directo", un "arranque através de resistencia", un "arranque con transformador o un sistema de "arranque estrella-triángulo". Estos diferentes formas de disponer de los contactores es porque es necesario de acuerdo a la potencia y a la carga del motor al arrancar (que consumen una elevada corriente, que puede que sea tan grande que la instalación no la soporte en forma directa. O como cuando el motor no pueda arrancar por el tipo de equipo que arrastra: no es lo mismo una bomba que un compresor de aire, etc. Los motores de más de 5 HP no deben tener arranque directo). Los contactores tienen los **térmicos** (y **magnéticos** en algunos casos para proteger el cortocircuito) que **tienen que "calibrarse" de acuerdo al amperaje máximo que pueda trabajar el motor**, esta calibración una vez efectuada no debe subirse (ya que de los contrario el motor se quemaría en una sobrecarga), y cada vez que se "dispare" o "salte" hay un botón (reset) para rearmar el mecanismo (previo enfriamiento de los térmicos). **Siempre que salte un "térmico" se debe de investigar cual es el problema** (frenado del motor por sobrecarga mecánica, pérdida de una fase, cojinetes en mal estado, fricción en los cojinetes o en el rotor del motor, etc.), ya que el abusivo rearme del mecanismo estando el motor recalentado hará que el mismo termine quemándose. Los contactos de los arrancadores deben ser inspeccionados y limpiados periódicamente (no olvidar de poner nuevamente los "apagachispas" o eliminadores de chispa), así como apretar todas sus conexiones a los cables (las conexiones flojas provocan recalentamiento). Los **contactores** (arrancadores) se clasifican por la corriente o potencia que pueden operar y la frecuencia o número de "arranques" o "rudeza" a que estarán sometidos.

En la actualidad, los arrancadores, electromecánicos, están siendo sustituidos por arrancadores totalmente electrónicos, que no tienen contactos, sino que el contacto se hace por medio de un semiconductor de estado sólido (como un transistor : llamado tiristor en corriente alterna), que se controla o dispara o corta la corriente con una señal eléctrica. También este sistema sustituye a los arrancadores en estrella-triángulo, haciendo que los arrancadores electrónicos controlen la corriente de arranque, según parámetros preestablecidos en el circuito de comando. De la misma manera hay ya arrancadores electrónicos que controlar la frecuencia de la corriente, haciendo que los motores de corriente alterna, cuya velocidad o rpm, son constantes si la frecuencia lo es, pueden ser regulados a distintas revoluciones, variando para ello la frecuencia y el voltaje aplicado (esto es muy conveniente en donde se hace necesario regular la velocidad del motor, como en un ventilador, bomba o compresor, ahorrando energía eléctrica, que con la regulación tradicional del flujo se pierde potencia (ya que la regulación lo que hace es frenar, derivar o retornar el flujo, que ahora simplemente maneja el flujo deseado al variar la velocidad del sistema).

**Programadores:** Los programadores son elementos electrónicos-eléctricos o eléctricos-mecánicos que marcan la secuencia del funcionamiento de los distintos elementos que intervienen en el funcionamiento de la caldera: Una vez que comienzan su "programa" hacen que primero prenda el ventilador para provocar un "barrido de gases", luego prenden la llama piloto (chispa o gas y chispa), tienen un elemento sensible a la combustión que les permite "ver" (fotocélula) si se ha prendido el piloto o llama principal, de manera que si esta operación falla en los primeros segundos, el programador detiene su marcha y puede comenzar nuevamente el proceso en las calderas más pequeña a combustible líquido (si vuelve repetir y no prende, para y hace sonar una alarma). El las calderas de combustible líquido de más 700.000 Kcal/hora y las de gas todas, **no habrá reciclo o nuevo intento automático.** Para empezar nuevamente el foguista deberá apretar un botón: "reset" si la llama principal ha prendido en determinados segundos, queda establecida la combustión y queda bajo "vigilancia" del elemento sensible a la llama (elemento foto-sensible o foto-célula sensibles a luz infrarroja y ionizadores o sensores a la luz ultravioleta en el caso de quemar gas, **que tendrán una velocidad de respuesta-tiempo en que detectan la falta de llama- de acuerdo al tamaño del quemador y del tipo de combustible**). Todo programador es el "cerebro" del circuito del control de la caldera, pero depende de los controles de nivel y de los presóstatos, termostatos, etc. que lo habilitan.

**Presóstatos:** Hemos visto en capítulos anteriores como van conectados y cual es su función. Los contactos que tienen permiten operar los programadores o los controles de llamas (modulante, todo-nada, etc). Son los elementos que comandan la operación del programador y nunca deben ser eliminados del circuito de comando, ya que son los que apagan la caldera una vez llegada a la presión máxima. Los **termostatos** por lo general se usan en calderas de agua caliente o en el control de la temperatura de los combustibles líquidos pesados (F. Oíl pesado y calefacción).

**Controles de nivel:** También hemos visto los controles de nivel. Estos tienen contactos que habilitan los circuitos de comando de la caldera (programadores y control manual) de manera que los "cortan o apagan" en caso que el nivel de agua baje al valor mínimo admisible (también comandan el contactor de la bomba de alimentación). Es **conveniente disponer** de **dos controles de nivel**, de manera que cada fase del circuito de comando sea cortada en caso de bajo nivel (puede llegar a ocurrir en el caso de un solo control de nivel, que al ponerse a tierra un de los cables de comando, el contacto del control de nivel después no actúe debido a que se encuentra "puenteado" por la tierra). Esto permite disminuir el peligro que representa la fallas por puesta a tierra o cortocircuitos en los cables.



Válvula de solenoide Núcleo de válvula

**Válvulas de solenoide:** Las válvulas de comando a distancia eléctricas, generalmente son a "solenoide". Una solenoide (un bobina con un núcleo de metal interior, actúa como un imán al pasar corriente por la bobina, generalmente corriente alterna, el imán formado cambiará de polo con la frecuencia de la corriente, pero a los efectos de atracción mecánica será los mismo) actúa como imán "levantando" o "tirando" de un vástago de hierro imantable (que se desplaza en el interior de un tubo de metal no imantable: inoxidable generalmente) y que se encuentra unido a un "disco" de válvula (de metal o teflón, que hace de cierre contra un asiento), dejando pasar el fluido. Estas válvulas de solenoide son utilizadas como válvulas pilotos cuando el caudal es muy grande, debido a que la solenoide en sí no tiene tanta fuerza de levantar un "disco" de válvula grande (esto depende también de la presión del fluido) actuando esta válvula piloto en otra válvula accionada por el mismo fluido.

**El motor eléctrico:** El motor eléctrico puede ser de corriente continua o alterna (normalmente es de corriente alterna, pudiendo ser monofásico o trifásico). **Para definir un motor** debemos establecer el **voltaje**, el **amperaje** (o **potencia** en Kilovatios: Kw o en caballos de fuerza : HP), si es **monofásico o trifásico** (corriente alterna), la **frecuencia** en ciclos por segundos de la corriente (ó Hercios), las **revoluciones por minuto**: R.P.M., el **tipo de rotor** y **bobinado** (a inducción **:** "**jaula de ardilla**" ó **rotor bobinado**, el tipo de conexión del bobinado: **estrella** y/o **triángulo**, tipo de construcción: **semi-abierta** o **cerrada**, tipo de **aislació**n: define la temperatura máxima de trabajo, tipos de cojinetes, etc.). Lo importante es que una vez funcionando se debe de mantener libre de humedad, evitar que se "recaliente" (por exceso de amperaje: carga), evitar que funcione con vibraciones anormales (vigilar que esté "alineado" con la bomba o equipo que arrastre). Se deben hacer mantenimientos preventivos de acuerdo a su uso: como medición del amperaje por fases (en 3 Ø), de la aislación del bobinado y su limpieza (mantener seco), cambio de rulemanes de acuerdo al mantenimiento, etc. Para que el motor difícilmente llegue a "quemarse" por sobrecarga, se debe utilizar con un buen contactor que tenga protección térmica y diferencial (el diferencial protege el equilibrio entre fases, ya un motor trifásico si queda en dos fases: "recalienta" y puede "quemarse" su bobinado aunque tenga protección térmica). Sus fusibles deberán ser (generalmente retardados) lo más próximos al valor mínimo de amperaje necesario. Cuando un motor de inducción a "jaula de ardilla", tiene vibraciones y luego de cambiar los cojinetes, balancear el rotor en forma dinámica, etc, continua vibrando, se debe de pensar que la falla puede ser provocada por la "rotura o corte de las barras de la jaula de ardilla" del rotor (en este caso se debe poner un rotor nuevo, o sea un motor nuevo ya que rotores de repuestos no se encuentran por lo general).

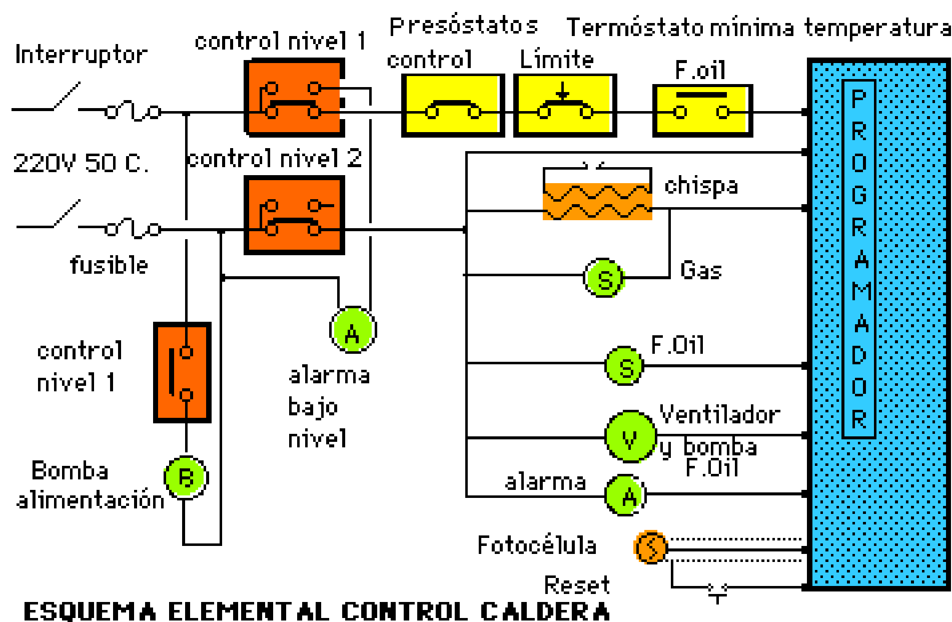
La forma de arranque de un motor trifásico es muy importante, ya que en el momento de arranque, si el rotor no es especial, la corriente de arranque puede ser de hasta más de 5 veces el valor nominal, por esta razón, a determinada potencia (por lo general con más de 5 HP) se utilizan arrancadores eléctricos especiales (antiguamente los rotores eran bobinados y se arrancaban con resistencias interpuestas en las bobinas del rotor a través de anillos con escobillas de carbón, que una vez de puesta en marcha se corto-circuitaban, otros rotores más modernos tienen en la propia "jaula de ardilla" una construcción especial para disminuir la corriente de corto-circuito de arranque). En caso que los rotores no fueran especiales, se utilizaban arrancadores con resistencias o transformadores para limitar la corriente en la línea, habiendo también la posibilidad de que si el motor se pudiera poner en el bobinado del estator en estrella-triángulo, este efecto se utilizaba en el arrancador (arranque en estrella-triángulo). No habiendo esta última posibilidad o sea el motor es necesariamente arrancado en forma directa por su voltaje, el mismo en la actualidad se puede controlar por medio de arrancadores electrónicos que limitan dicha corriente en la propia línea, siendo este sistema moderno ahora utilizado en vez de las resistencias o transformadores de arranque. No cualquier sistema se puede aplicar, se debe estudiar la carga y tipo de carga mecánica conectada al motor, ya que no es lo mismo arrancar una bomba, un ventilador o un compresor.

**Hoy en día, los variadores de velocidad (rpm) de los motores eléctricos se logran electrónicamente** (antiguamente se hacía por medio mecánicos o eléctricos, como el rotor bobinado), pero la **regulación electrónica de frecuencia,** haciendo variar las rpm de los motores eléctricos tienen aplicaciones muy importantes en el manejo de fluidos, ya que podemos establecer la potencia eléctrica necesaria para la condición flujo y presión del fluido, **ahorrando mucha energía eléctrica y muchos elementos mecánicos que no soy ya necesarios**. **Con estos sistemas de regulación, los tiros inducidos, los tiros forzado** (primario y secundario)**, se pueden controlar en forma automática, buscando las mejores condiciones de funcionamiento para una respuesta adecuada a los cambios de presión y caudal de vapor, mantenimiento las condiciones de combustión en forma óptima. Pero los convertidores no regulan de 0% al 100%, en la primera parte de regulación se deben utilizar "persianas" con motor modulante, de manera de cubrir la zona en que el convertidor no cubre (aprox. de 0% al 30%).**

Por ejemplo: una caldera a leña, puede mantener la depresión del hogar controlando las rpm del tiro inducido, y mantener la presión de vapor comandando las rpm de los ventiladores bajo grilla (primario y secundario). O en calderas pequeñas, controlar los motores directamente con la presión del vapor y un controlador electrónico por cada motor, comandado por un controlador de salidas independientes, en las cuales se pueda regular en todos los parámetros PID (proporcional a la señal, integral a la desviación y derivativo a la velocidad de cambio de la señal) y /o pasando a control manual todo o cada uno de los controladores (realmente, algo impensado hasta hace unos años atrás, ya que ahorramos energía eléctrica y logramos un muy buen comando, si sabemos ajustar el PID). **Esto se puede mejorar, controlando los aires secundarios por medio de un medidor de oxígeno en chimenea que comande el exceso de aire,** haciendo variar las rpm del ventilador secundario.

**Veamos un sistema de control de caldera elemental:**

Este además de ser automático, puede tener un funcionamiento manual. Ambos sistema conviene que tengan una limitación de presión máxima dada por un presóstato (un presóstato de control normal y un presóstato de límite de máxima con reset manual). En este caso haremos esquema de un circuito automático sin control manual. A este esquema elemental le falta el sistema de calefacción del F.Oíl, el circuito de potencia de alimentación de los motores, las luces y alarmas sonoras indicadoras de fallas y funcionamiento, no tiene encendido manual, etc.. Muestra lo mínimo elemental para el funcionamiento de una caldera con un quemador de una sola llama y dos controles de nivel (el segundo es de seguridad por si falla el primero). El programador generalmente tiene una función de repetición de un segundo intento de arranque si falla el primero al no detectar llama, si falla la segunda vez se parará y sonará una alarma (en los quemadores a gas, todos, y los de combustibles líquidos de mayor potencia, no tendrán un reciclo de arranque si falla el encendido, el quemador quedará bloqueado hasta que el foguista lo restablezca). Para reiniciar el ciclo se deberá apretar el botón "reset" que rearma el programador para un nuevo ciclo. Tiene una termostato para impedir el funcionamiento con F.Oíl frío: para evitar una mala atomización (con una combustión que ensuciaría la caldera y además costaría encender, provocando con ello "explosiones" o "pulsaciones" en el hogar).




**Mantenimiento eléctrico:**

**Una buena práctica es** mantener los tableros limpios de polvo y humedad. **Probar por lo menos una vez por turno** que los controles de nivel apaguen al quemador al purgar a fondo los mismos (simular un bajo nivel con el quemador prendido). Probar el funcionamiento de la fotocélula, con el quemador prendido: tapar la misma de la luz y ver si apaga el quemador (apretar luego el "reset").

Como buena precaución para la parte eléctrica se debe de tener a mano: varios juegos de fusibles, solenoides de repuesto para el gas y F.Oíl, un programador que sea nuevo o recuperado (pero probado de que funciona).

**Para probar el programador**, una buena práctica, es conectarlo en el taller con lámparas como si fueran las bobinas o cargas. De esta manera se puede observar al dar corriente el funcionamiento de las lámparas (no olvidar de manipular la fotocélula, es decir taparla en el primer momento hasta que encienda la luz correspondiente al gas y chispa, si "ve luz" no habilita al programador). De esta manera podemos observar los ordenes de encendido y medir los tiempos que le corresponde a cada etapa (con la foto célula tapada, primero prende el ventilador: "barrido", luego el gas y chispa, destapar la fotocélula, por último prende la solenoide de F.Oíl. Tapamos la fotocélula y vemos la repetición del ciclo y dejando la fotocélula tapada tendrá que ir a la alarma. Apretamos el "reset" y tendrá que empezar el ciclo).

En algunos casos es conveniente **disponer de dos presóstatos de corte,** uno para la operación de arranque y parada y otro de máxima presión de corte en caso de que falle el primero (conviene que este presóstato sea de rearme manual o sea que en caso que actúe la caldera no vuelve a prender hasta que el operador la habilita apretando un "reset" o sea un botón) . **Si ocurriera una falla del presóstato de corte de alta presión solo tendremos las válvula de seguridad que actuarán descargando la presión a la atmósfera**. (por esta razón las válvulas de seguridad deberán ser de la calidad y tamaño adecuado a que cada una sea capaz de descargar todo el vapor generado, en un mínimo de 2 por caldera).

Las **válvulas de solenoide** deben mantenerse limpias exteriormente y secas, no olvidar de poner su "capucha" o tapa de metal, ya que la misma es importante para su funcionamiento (forma parte del circuito magnético que actúa sobre el vástago, no sólo perderá fuerza de actuación al no estar tapada, sino que en corriente alterna la bobina se recalienta por exceso de circulación de corriente por la bobina al disminuir la "auto-inducción" necesaria para limitar la corriente).

**Los cables que pasen por zonas de altas temperaturas deberán estar protegidos mecánicamente (en tubos) y ser de material que soporte el calor**.
Estos cables serán conveniente su reemplazo cada tantos años (de 5 años max.).

Nunca dejar el tablero, las tapas de los controles de nivel y de los presóstatos destapados, se llenan de polvo y cucarachas. Este polvo y las cucarachas pueden provocar "cortos", atascamientos de mecanismos, ensuciamiento de contactos, etc.

El tablero debe estar "prolijo" y sus terminales numerados, con los planos esquemáticos y diagramáticos a mano, de manera que rápidamente se puede estudiar una falla en el funcionamiento para su reparación.

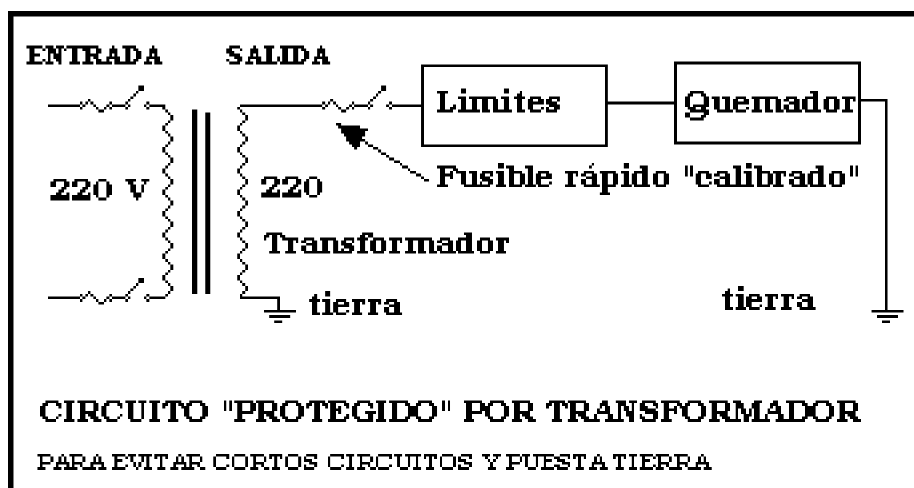
Conviene que en toda caldera exista una "**llave**" **de corte eléctrico general** a la **salida de la sala de caldera** para que en el caso de rotura de un tubo o cañería de vapor que tienda a inundar la sala o en un incendio, se pueda cortar la corriente.

Toda la instalación eléctrica de la caldera **deberá disponer de una buena conexión a tierra**: motores, tableros, etc. para evitar que queden partes con corriente y que puedan ser tocadas por el hombre (con peligro de muerte).

## COMENTARIO:

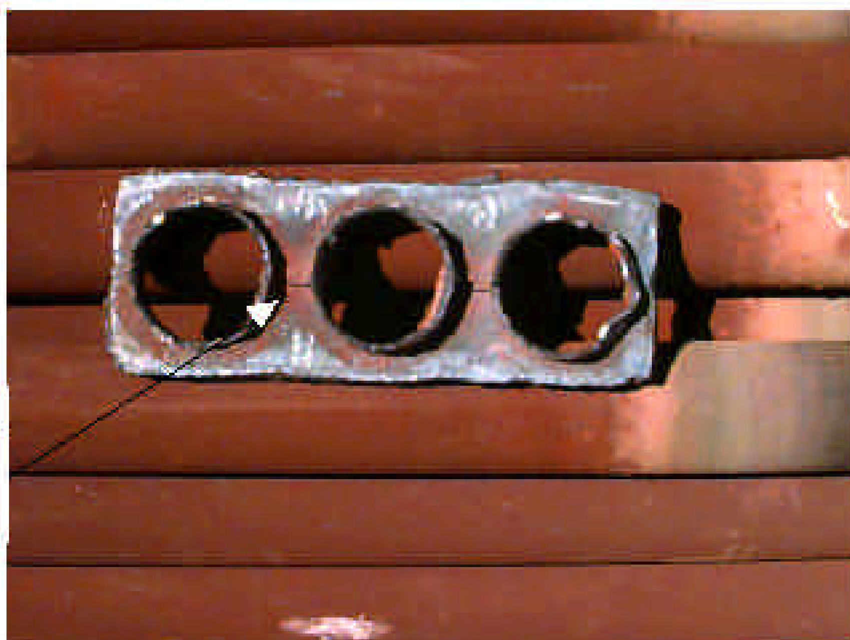
**La seguridad de una caldera, está sumamente ligada a los controles eléctricos y electrónicos** (toda la operación de una caldera automática, depende de los sensores : presóstatos, controles de nivel, etc.) **que para funcionar deben estar "conectados" por medio de conductores aislados** (cables aislados entre sí y aislados a "tierra" y que soporten la alta temperatura que hay en algunos lugares). **Cualquier falla que pueda conectar dos cables entre sí o un cable a "tierra"** ( por lo general siempre ya hay un cable a "tierra" en las instalaciones por falla de la aislación de los sistemas de distribución de la corriente eléctrica)**, puede provocar una "falsa" lectura de la situación de los controles y con esto provocar una falla muy grave. Si un presóstato se "anula" y queda indicando una falsa situación, el quemador puede no apagar** (en este caso solo las válvulas de seguridad nos pueden salvar, ya que abren y mantienen la presión bajo del límite de diseño), **pero si un control de nivel indica un falso nivel de agua y no hay otro control de respaldo, se puede anular el "corte por bajo nivel"** (pero aún habiendo dos controles de nivel, si la falla de los cables se produce en un punto en que se anulan los dos cortes por bajo nivel, **el quemador queda prendido sin agua, lo que produce el "quemado" de la caldera y el riesgo de explosión de la misma,** especialmente si entra agua repentinamente cuando la misma está al "rojo vivo", pero de todas maneras se puede "perder" la caldera por el alto recalentamiento y su deformación).

**La solución en parte a estos problemas de los cables** (tanto a su corto-circuito como su puesta a "tierra"), **se limita** (disminuye el riesgo) **instalando un transformador de alimentación a la entrada de la corriente de "comando"** (un transformador con el primario y el secundario separado, **no un auto-transformador,** de manera de aislar el sistema de distribución con el control de la caldera) **y se pone una de las salidas del transformador a "tierra", poniéndose un fusible de acción rápida** (ajustado al valor del consumo) **en la línea "viva", de manera que si los cables se corto-circuitan o se ponen a "tierra", el fusible se "quema" y el quemador queda sin corriente de comando** (apagándose).




CIRCUITO "PROTEGIDO" POR TRANSFORMADOR

PARA EVITAR CORTOS CIRCUITOS Y PUESTA TIERRA




## 11- FALLAS MAS COMUNES EN LAS ESTRUCTURAS DE LAS CALDERAS

**Las causas más comunes de fallas en las calderas, no ocurren por fallas en el cuerpo de presión** (envolvente metálica, placas, domos, colectores y tubos)**, ya que los mismos son construidos bajo estrictas normas de construcción** (tanto por el diseño, que debe respetar la circulación interna del agua o vapor, el efecto mecánico de la presión, las condiciones térmicas y químicas a que está sometido el material, así como su composición, conformación, soldadura, alivio de tensiones, pruebas hidráulicas, ensayos no destructivos y destructivos (en caso de dudas), etc.

**La mayoría de las causas de las fallas ocurren por todos elementos accesorios del manejo y la seguridad de la caldera** (eléctrico, electrónico, mecánico, neumático y químico) **y la falla humana** (cuando el entrenamiento al foguista no es el adecuado). **Por eso podemos decir, que los técnicos que se relacionan con las calderas, no solamente deben de tener una base de ingeniería, sino una "idoneidad", dada por la experiencia y el "gusto" por el tema de calderas.**

**Siendo el "foguista", el "personaje" que actúa permanentemente en la operación de las calderas, se le debe tener especial atención a su formación profesional y humana, considerando todos los aspectos a su responsabilidad, en la cual está en juego la vida humana, el dinero de la fábrica** (la caldera es un lugar en donde se puede "quemar" el combustible inadecuadamente, provocando importantes pérdidas) **, pero además de la Eficiencia, está la necesidad de que tienen la mayoría de los procesos que no deben de "parar"** (cuando una fábrica se queda sin vapor, se pierden muchas cosas, no solo el "lucro-cesante", sino los sueldos, otros insumos, como la materia prima y semi-elaborada, en muchos casos, creo que no hay pérdida más grande que las "paradas forzadas").

**CAUSAS PROBABLES DE LOS AFLOJAMIENTOS DE TUBOS DE CALDERA EN CALDERAS HUMOTUBULARES:**

La función de los tubos en las calderas humotubulares son fundamentalmente la generación de vapor y la de mantener en posición las placas. Por lo tanto, la unión de los tubos en las placas no solo deberán ser de estanqueidad, sino también de resistencia (mantener la distancia entre las placas, evitando que la presión tienda a deformarlas). Por lo dicho, los tubos deberán ser mandrilados, soldados o pestañados de acuerdo a las normas establecidas.

Cumpliendo los requisitos anteriores, aparentemente no deberían producirse aflojamientos de los tubos en su unión con las placas, pero la realidad es que los mismos se producen. Podemos establecer una serie de causas que provocan los aflojamientos, que normalmente se adjudican a un mal armado de la caldera o a una calidad inadecuada del material.

El elemento común a todas las fallas que indicaremos, es la dilatación de los tubos y las placas, que debido a los cambios o diferenciales de temperatura, provocan esfuerzos anormales entre los mismos (por cada 100ºC que varía la temperatura y por cada metro de material de hierro hay una dilatación de aproximadamente casi 1,2 mm).

Veamos cuales son las causas más comunes:



**1-CALDERA INCRUSTADA :**

Si los tubos se encuentran incrustados (la placa también por lo general lo estará), la temperatura del metal aumenta, provocando una mayor dilatación de los tubos que la normal (los tubos se alargan más que la caldera). Esta dilatación mayor que la normal provoca un esfuerzo en la unión de los tubos con la placas, que no sólo provocan la ruptura de la unión, si no que pueden fatigar la placa (deformar más de lo permitido por el material reiteradas veces), provocando su fisura. La placa misma estará recalentada, lo

cuál elevará la temperatura sobre la zona del mandrilado, facilitando el aflojamiento del mandrilado, ruptura de soldadura y probable fisura de la placa (fatiga térmica: excesos de temperaturas altas repetidas veces) combinada con los esfuerzos excesivos de los tubos sobre las placas, acelera el proceso anterior.

**El aumento del régimen de vaporización acelera este proceso** (debido al aumento de las temperaturas al forzar la combustión), así como las **condiciones químicas del agua** (alto PH, alto contenido de sólidos disueltos e insolubles, exceso de alcalinidad libre, etc., todo aquello que aumenta las burbujas de vapor en el interior del agua).

Una caldera en estas condiciones (incrustada o llena de barros) debería ser limpiada químicamente y mecánicamente.

**2-CALDERA CON CIRCULACIÓN DE AGUA DIFICULTOSA:**

Si la caldera se encuentra llena de barros o incrustaciones caídas que impiden la buena circulación del agua en su interior, los tubos y las placas se encuentran sometidos a temperaturas anormales (superficies de transferencias térmicas), provocando diferencias de dilatación, dilatación mayor que la normal, fatiga térmica, deformación plástica (al perder de resistencia por alta temperatura), etc..

**3-CALDERA CON CIRCULACIÓN CORTADA POR BAJA PRESIÓN Y ALTO RÉGIMEN DE FUEGO:**

En este caso se encuentran aquellas calderas en que se permiten **que las presiones bajen en forma exagerada con el régimen de fuego elevado o llama alta** (tratando de recuperar la presión).

Esto provoca una mala refrigeración de los tubos y las placas, especialmente en la unión de los tubos con la placa más caliente (provocando una aislación de la placa más caliente por las burbujas de vapor de mayor tamaño al disminuir la presión, que no permiten el contacto del agua con el metal para su buena refrigeración). Se debe trabajar con la presión diferencial de diseño (Por ejemplo: presión de diseño apaga la llama alta - un 10% por debajo de la misma prende la llama alta o prende el quemador), o cerrando los consumos menos importantes en caso que no se pueda recuperar la presión en forma normal . Si por alguna razón se debe trabajar con presiones bajas (por ejemplo un 50% por debajo de la diseño) es aconsejable disminuir el régimen mayor de fuego a un valor adecuado .

Estos conceptos dependerán del tipo de caldera y su uso.

Algunas calderas ya vienen con una doble protección para éstos casos: disponen **un presóstato que sólo permite entrar la llama alta cuando la presión es mayor a un valor determinado**, es decir que en baja presión es imposible poner la llama alta. **Otra protección puede ser una restricción en la válvula de salida de vapor** (diafragma o placa orificio), de manera que al bajar la presión y aumentar el volumen del vapor por kilogramo del mismo (volumen específico), la presión en el interior de la caldera tiende a no disminuir por no poder salir el vapor con facilidad (aumento de pérdida de carga en la válvula de salida).

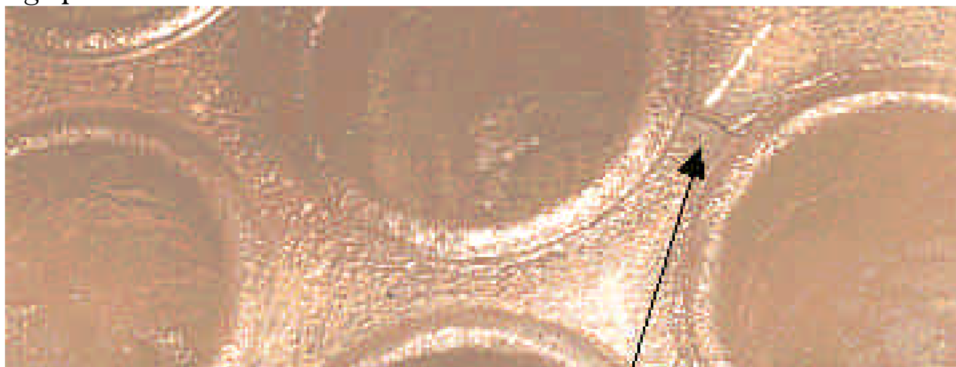
Esto también es válido para cuando se "prende" la caldera, es decir, se debe de prender y **calentar con llama "baja" (lentamente) hasta lograr la presión de trabajo** (sacando el aire por el grifo atmosférico hasta que salga suficiente vapor, de lo contrario el calentamiento será incorrecto, ya que se llegará a la presión con menor temperatura de la caldera y falta de circulación interna que permita la distribución del calor, quedando zonas frías del agua de caldera). Al dar vapor para uso en la planta, **no permitir que la presión disminuya demasiado,** cerrando algunos consumos de vapor si fuera necesario y no forzando la combustión con la presión ya venida a menor valor del 50% de la presión de trabajo.

**4-ALIMENTACION CON AGUA FRÍA Y CALENTAMIENTOS RÁPIDOS :**

En estos casos se puede decir que se producen efectos como los ya descriptos, que son aumentados por contracciones y dilataciones bruscas.

Las calderas deben ser alimentadas con el agua los más caliente que lo permita la bomba de alimentación, sin que la misma cavite (esto mejora la respuesta de la caldera, disminuye el oxígeno disuelto, aumenta la capacidad nominal momentánea, etc).

Las puestas en servicio deben ser lentas hasta lograr la presión de trabajo, calentar el agua de alimentación lo antes posible. Luego recién dar servicio de vapor en forma suave, para evitar una brusca bajada de presión, así como arrastres y calentamientos de línea con golpes.




**PLACA FISURADA POR FATIGA TÉRMICA**

provocada por baja presión de vapor con la combustión al máximo.

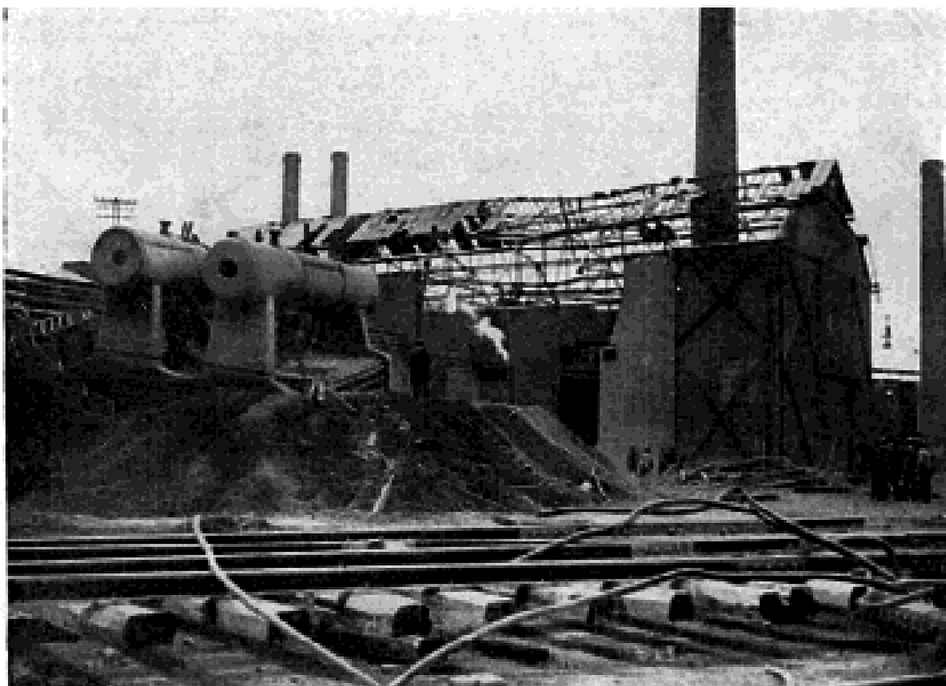
La placa inferior ha sufrido una fisura entre agujeros de tubos de la placa (que está sometido al esfuerzo del mandrilado), que por falta de refrigeración, debido a trabajar la caldera con muy baja presión y su combustión al máximo. Las burbujas de vapor que se producen contra la placa y los tubos, aumentan de dimensión al bajar la presión, alejando el agua que la refrigera, lo que provoca una fatiga térmica (esta falta de refrigeración no solo aumenta al bajar la presión, o aumentar la combustión, sino que en determinadas condiciones fisicoquímicas del agua, hacen que las burbujas aumenten de tamaño (alto PH, alto sólidos disueltos o en suspensión, contaminación orgánicas, incrustaciones, etc.).




**5-CONDICIONES QUÍMICAS DEL AGUA:**

Las condiciones químicas del agua se encuentran ligadas a todos los fenómenos anteriores, fundamentalmente se podría decir que el orden de alteración se establecerá por: **alta alcalinidad** (fundamentalmente hidróxidos), **contaminación con materiales orgánicos** (grasas, aceites, leche, azucares, etc), **total de sólidos disueltos** (más los **sólidos que se encuentran en suspensión** ). Estos límites deben ser cuidadosamente manejados.

**Estas condiciones afectan la forma de operar la caldera,** ya que rebasados los límites admisibles para cada caldera: los arrastres, variaciones de nivel y aún el efecto de una ebullición espontánea (las superficies de transferencias quedan envueltas en vapor y no en agua) **pueden no sólo aflojar los tubos, sino que permitir recalentamiento de la placa más caliente y hasta un aplastamiento del hogar en calderas rápidas.** ( de alta transferencias térmicas ).



EXPLOSION DE SALA DE CALDERAS

6-FORMA DE OPERAR :

**Nunca permitir que el nivel de agua se encuentre por debajo del nivel mínimo: Apagar los fuegos** y **cerrar la salida de vapor en caso de no poder alimentar la caldera con agua** (corte de corriente, falta de agua, fallo de bomba, fin de la jornada de trabajo, etc..).

Las maniobras con válvulas de vapor de cierta dimensión deben ser efectuada con suavidad o primero abriendo una válvula de by-pass (una válvula puesta en paralelo de pequeña dimensión) hasta lograr el calentamiento inicial de las líneas y del equipo a alimentar, permitiendo el equilibrado de la vaporización de la caldera (nivel del agua en el interior, circulación de la misma, recuperación de presión, etc).

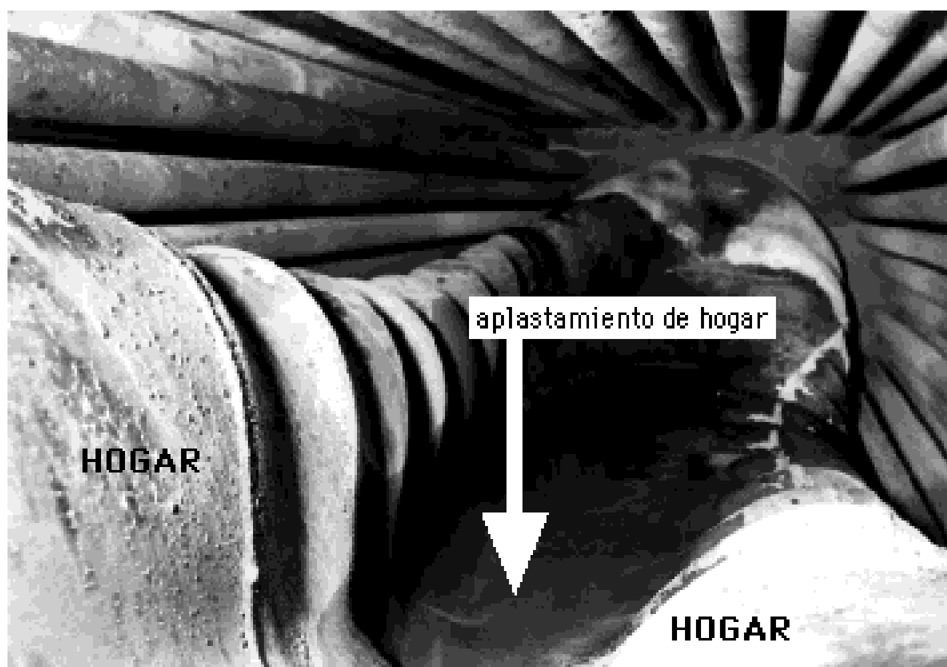
**Una apertura violenta de una válvula de cierta dimensión puede provocar una gran arrastre de agua con el vapor, una descompresión en el interior de la caldera que eleva el nivel agua artificialmente** (se nota que suben los niveles, pero en realidad es la misma cantidad de agua en el interior de la caldera que se eleva por las burbujas al descomprimirse la caldera), **dejando las superficies de transferencia de calor sin suficiente agua de refrigeración: se produce vapor que aisla a ésta**, provocando aflojamientos de tubos, fisuras de placas y hasta recalentamiento de hogar.

**Las purgas mal operadas,** es decir, purgas que se encuentran en zonas que al ser accionadas afectan la circulación del agua en el interior de la caldera cuando la caldera se encuentra vaporizando en régimenes altos, provocan recalentamientos locales. **Las purgas de fondo no deben ser operadas en régimenes altos de vaporización** : son inefectivas para sacar los barros y además se corre el riesgo de cortar la circulación en el interior de la caldera (se debe usar la purga continua para mantener los límites de los sólidos disueltos, PH, alcalinidad, etc). **Los colectores de barros de las paredes de un hogar refrigerado** (caso caldera con capillas, gasógenos, hogares acuotubulares, etc.) **no deben ser purgados con régimenes de vaporización medianos y altos, debiéndose purgar en los**

**momentos de muy baja vaporización o vaporización nula** (fuegos apagados con presión en la caldera).

**Siempre comprobar que las purgas de fondo y de nivel funcionen correctamente, escuchando el "ruido" producido por el flujo de agua y el vapor de flash que se produce al purgar** ( si la purga de se abre y no cumple la función de sacar agua con barros, estos barros se acumularán y provocarán un problema de circulación interna o el bloqueo de los controles de nivel, produciendo un accidente).

CALDERA HUMO-TUBULAR CON HOGAR APLASTADO
POR FALLA DE BAJO NIVEL




**CORROSIONES MAS COMUNES EN CALDERAS**

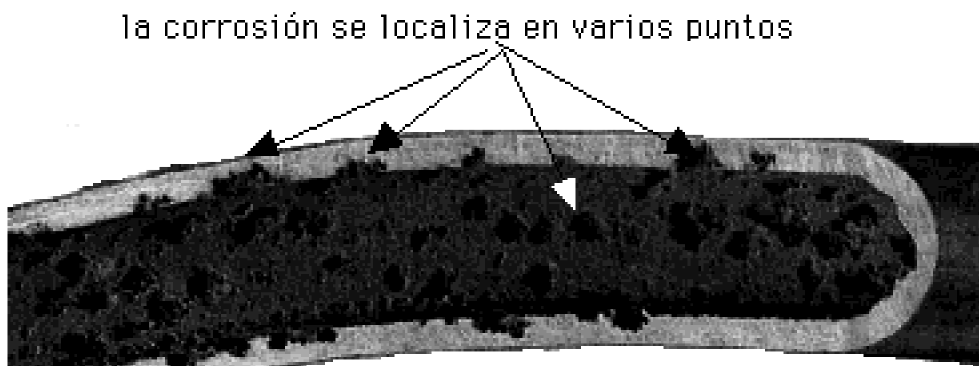
**Corrosión localizadas:**

**Las calderas humo-tubulares están expuesta a la "picadura"** ("pitting", corrosión localizada) **de los tubos superiores cuando están incorrectamente paradas**. (en las caldera acuo-tubulares pasa lo mismo en los domos superiores y sobrecalentadores). Los tubos superiores, más cerca del nivel del agua se encontrarán expuestos a la acción del oxígeno que entra al parar la caldera (al bajar de 100ºC la temperatura del agua de la caldera se produce un vacío que hace que entre aire de la atmósfera que contiene oxígeno, este oxígeno produce una corrosión localizada en puntos, que una vez que comienza es facilitada por la propia estructura de la "picadura"). En caso que la caldera quede con cierta temperatura interior la corrosión se aumenta, ya que **la temperatura acelera las reacciones químicas** (esto ocurre cuando la caldera recibe pérdidas de vapor por la válvula de salida de vapor desde otras calderas en servicio). Si la caldera no está tratada químicamente o no se encuentra incrustada aunque sea levemente, esta corrosión también se acelera (también el uso de agua ablandada o desmineralizada, sin un tratamiento químico posterior, hace que se facilite esta corrosión).

**Para evitar ésta corrosión la caldera debe de estar tratada químicamente con un secuestrante de oxígeno (y un PH adecuado, más de 10,5) y el nivel del agua** debe

estar de tal manera que no se produzca la posibilidad que entre más aire en el interior de la misma (**mantener inundada con un sello de agua**). Ver capítulo de conservación de calderas.

Estas corrosiones también ocurren en las calderas acuotubulares, afectando fundamentalmente a los domos y sus accesorios separadores de vapor, así como a los sobre-calentadores de vapor que quedan mal inundados en las paradas.




CORROSIÓN POR OXÍGENO ("pitting")

**Corrosión localizada por diferenciales:**

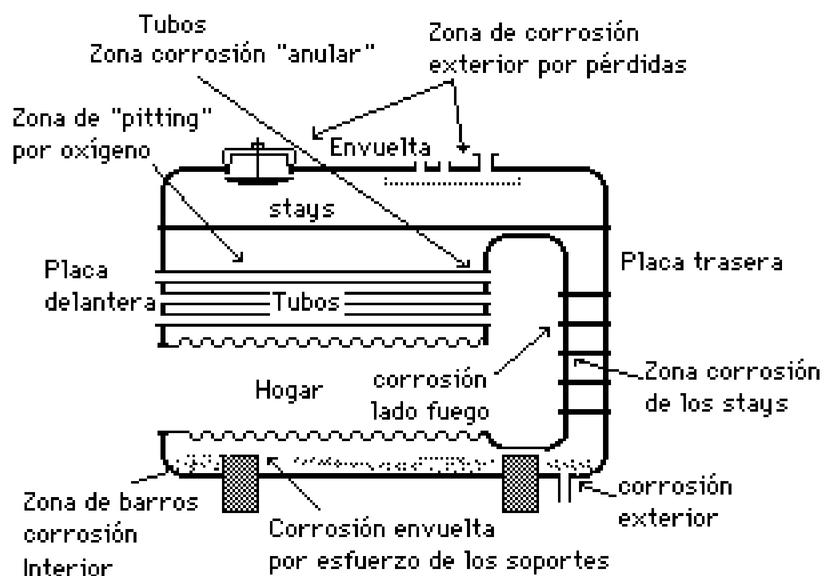
**Las corrientes galvánicas** (verdaderas pilas eléctricas, provocadas por el voltaje que se desarrolla entre los metales de diferentes tipos, por estar sumergidos en agua de caldera. Esta agua es conductora de la corriente al tener sales que se disocian en iones. Por ejemplo: los materiales con cobre, tienden a corroer a los tubos, envueltas y placas, que están hechos de aceros dulces especiales para caldera. El acero inoxidable y la fundición también se comportan como el cobre pero con menor fuerza). Estas condiciones de corrosión por corriente galvánicas se evitan tratando de no poner metales que puedan atacar al hierro y también por la condición química del agua, que juega un papel fundamental, acondicionando las superficies de hierro para que resista a la corrosión eléctrica, evitando que que el hierro "tienda a disolverse en el agua". Antiguamente se ponía en las calderas elementos de "sacrificio"-ánodos- de zinc para que estos fueran atacados en vez de la estructura de la caldera, luego se descubrió que cuando la temperatura era más de 80ºC estos electrodos invertían su polaridad y en vez de proteger podían atacar al hierro, por lo que se dejaron de utilizar. En los calefones de agua con tanques de hierro esmaltados se utilizan estos elementos de sacrificio, pero en vez de zinc son barras de magnesio (el magnesio protege un poco más por encima de 80ºC, en los calefones, que si no tuviera el elemento de sacrificio y si hubiera una pequeña perforación en el esmalte, el tanque se perforaría más rápido al concentrarse la corriente en un punto, que si este no estuviera esmaltado).

**A las corrientes galvánicas por diferencial de metales, debemos agregar otras: las corrientes exteriores por pérdidas eléctricas y magnéticas de las instalaciones el eléctricas.** Estas deben ser evitadas haciendo correctamente la instalación eléctrica, disponiendo correctamente las tierras de los equipos eléctricos.

**Otras corrientes que se producen y provocan corrosión se deben: a oxígeno diferencial** (se llama:"areación diferencial", es la diferencia entre la cantidad de oxígeno en el agua de una parte de la caldera y otra. Esto puede ocurrir dentro de una misma "celda de corrosión" -protuberancia de corrosión- o entre una parte de la caldera que se

encuentra "tapada de barros" y la parte limpia, etc..

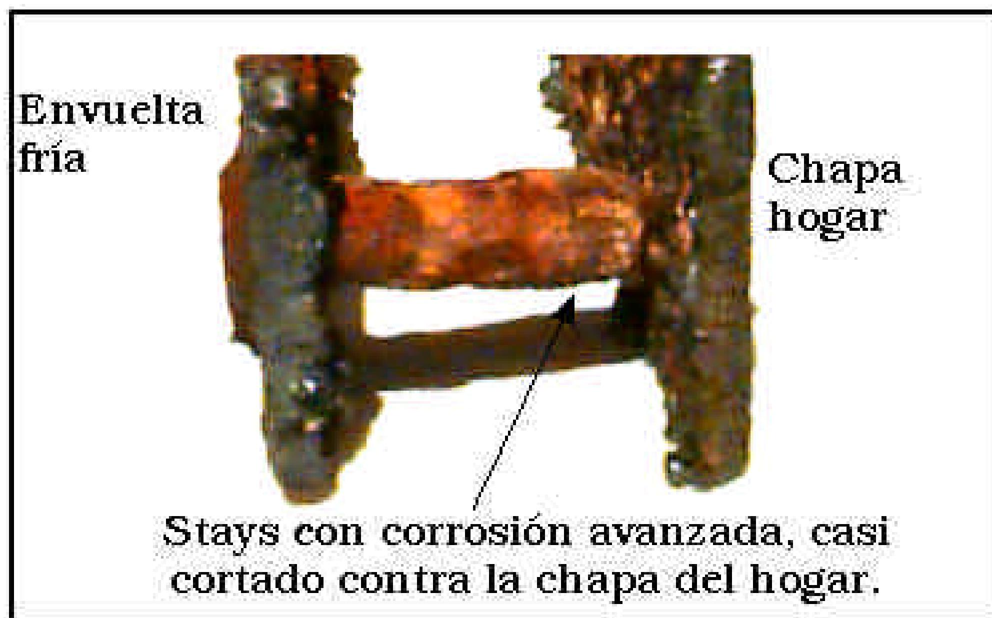
También en este caso el tratamiento químico interno es fundamental, eliminando el oxígeno y preparando las superficie del metal. Haciendo limpieza de barros periódicamente o limpiezas químicas para sacar las "celdas de corrosión" una vez declarada la corrosión ,etc.




**PUNTOS DONDE SE PRODUCEN LAS CORROSIONES MAS IMPORTANTES**

**Otro caso de este diferencial eléctrico: este se produce por la diferencia de temperaturas entre los metales que componen las calderas.** También aquí se producen diferencias de potencial que provocan corrosión, este caso comprende la corrosión de los refuerzos soldados ("Stays") entre los hogares y las envueltas de algunos tipos de calderas humo-tubulares. El metal del hogar al estar mucho más caliente que el metal de la envuelta, produce una diferencia de voltaje que forma una conducción eléctrica por el agua de caldera, esta provoca una corrosión que tiende a cortar el refuerzo ("stays") próximo a la zona más caliente. Esta falla es muy común en calderas de calefacción de baja presión que tienen muchos "stays" (por su forma plana) y debido a que sus aguas normalmente no se tratan químicamente.

Es importante tener este detalle en cuenta cuando se inspeccionan calderas de este tipo: inspección de los "stays" por corrosión contra la zona más caliente.



Stays con corrosión avanzada, casi cortado contra la chapa del hogar.

**En las calderas humo-tubulares la corrosión más común de este** tipo se encuentra sobre los tubos, próximo a la zona de la "placa más caliente". Esta corrosión se le llama: "corrosión anular", generalmente se le atribuye a que en esa zona tiende a no haber incrustaciones sobre los tubos y que por eso se corroe. Pero también se debe considerar que cuando hay corrosión no se puede formar la incrustación sobre dicha superficie. Habiendo un tratamiento químico interno adecuado estas corrosiones disminuyen aun mínimo.

**También deben ser tenidas en cuenta en estos casos las corrosiones provocadas por las diferencias de tensión o fuerza sobre el metal.** Estos casos se encuentran generalmente en las zonas donde se apoyan los soportes o "patas" que sostienen a las calderas humo-tubulares fundamentalmente (esto también aparece en calderas en que no se ha dejado una luz "libre" de dilatación entre las "patas" de soporte, ya que por cada metro de caldera entre patas hay una dilatación de 1,2 mm por metro por cada 100ºC de aumento de temperatura). Controlar estas zonas desde el interior de la caldera. También a estos casos hay que sumar aquellas tensiones provocas por las soldaduras que no han sido correctamente "aliviadas" con el "recocido" de la caldera. El tratamiento químico interno es importante para disminuir su efecto.

**El agua ablandada, el agua destilada o des-inizada, el agua de lluvia: sino no son tratadas adecuadamente son un factor acelerante de todas estas corrosiones que hemos visto anteriormente.**

**Corrosión en calderas "remachadas".** Si bien las calderas actualmente no se hacen con remaches, todavía quedan algunas calderas remachadas (que tienen más de 50 años). **El problema de estas calderas es que los remaches "se cortan" por distintas razones y a veces no se pueden observar si están en esa condición** (muy peligrosa). Una de las razones de que se cortan, es que están sometidos a dos esfuerzos, uno de corte y otro de estiramiento, que provoca una fatiga del remache, que se acelera por la presencia de sales concentradas del agua del interior de la caldera, que penetra entra la junta, especialmente

lo que se dio en llamar "fragilidad cáustica", o sea, la presencia de grandes cantidades de sodio, que es muy común en agua de pozos ablandadas. **Esta situación es muy peligrosa, ya que los remaches se van cortando y a veces no aparecen pérdidas que lo "delaten"** (el óxido de tantos años sellan estas pérdidas)**.** Una forma de saberlo es hacer un ensayo no destructivo (antes se extraían algunos remaches para observar su estado, pero ya que no hay hoy en día operarios que sepan "remachar" y soldarlos a veces no es una buena solución, es mejor un ensayo no destructivo). Una prueba "casera", es darle un golpe con un martillo de bola (bien fuerte) con la caldera con presión hidráulica (de trabajo, sin aire dentro de la caldera para evitar un accidente si se produce la rotura de junta remachada), el remache al sufrir el golpe, si está cortado, por lo general pierde agua con el golpe. **Lamentablemente, no hay mucha conciencia de este problema y a veces es conveniente dar de baja la caldera** (que por lo general son de muy mal rendimiento y la caldera nueva se paga rápidamente con ahorro de combustible).




**Corrosiones generalizadas:**

**Las corrosiones generalizadas generalmente ocurren bajo la presencia de contaminantes:** ácidos, materias orgánicas (grasas, leche, azucares, etc.) que en el interior de la caldera se descomponen formando ácidos. También los materiales alcalinos (alcalinidad hidróxido elevada, contaminaciones con sodas, lejías de procesos, etc.) que elevan la conductividad del agua y el PH a más de 11,5. Algunos productos de tratamientos de calderas mal usados (bisulfitos) o los límites químicos muy altos , como ser el exceso de cloruros, etc. favorecen estas corrosiones.

**La corrosión generalizada podrá atacar al material en las zonas más calientes** (grasas, azúcares,etc) o en algunos casos en las zonas más frías (cloruros). La forma de la

corrosión podrá ser que parte del material sea atacado directamente o de manera que toda la capa de óxido protectora de la superficie del metal no se establezca. En este último caso la corrosión es tan pareja que casi es imposible de percibir a simple vista (caso de altos PH: aguas de pozos con alta alcalinidad ablandadas en ciclo sódico con ciclos de concentración muy altos).

**Los análisis de caldera son imprescindibles para detectar las contaminaciones**.

Es fundamental el fijar los límites operativos del tratamiento, así como el tratamiento químico interno adecuado para cada condición de agua de alimentación.

En la fábricas de procesamiento de materias orgánicas o de elementos contaminantes, se deberá mantener un control estricto de los PH del agua de caldera en forma muy periódica (horaria, diaria, etc), ya que cualquier contaminación afectará al PH inmediatamente (y este es muy fácil de medir con papel PH). Controlar los condensados por PH, dureza, T.S.D., azúcares, etc. aunque algunos de estos contaminantes podrán no afectar el T.S.D. o PH del condensado. Muchas veces se notarán por la formación de "espumas" o alteraciones rápidas u oscilaciones de los niveles.

**Cuando sean conectados digestores** u otros elementos es conveniente **poner válvulas de retención para evitar el retroceso de los contaminantes** por la líneas de vapor al producirse vacío o menor presión en las mismas al cerrar el vapor o apagar la caldera. **En el caso de calentamiento de productos muy contaminantes** y fundamentalmente cuyos **condensados** no sean importantes (como ser calefactores de F.Oíl) **es preferible tirarlos**, ya que su recuperación provocaría un daño muy importante en caso de rotura de las serpentinas de calentamiento.



**Hay un caso muy a tener en consideración**, son las calderas que se utilizan para **el calentamiento de aguas de piscinas** (tanto de agua dulce o peor cuando son para agua de mar o saladas), dado que el agua de piscina tiene un alto contenido de cloro para la desinfección. El cloro en el circuito de la caldera, se comporta peor que el oxígeno, que ataca la caldera fría, el cloro ataca en caliente y frío. La presencia del agua de piscina en el circuito de alimentación de la caldera, tanto **viene por la linea de retorno de condensado**, debido a la rotura de los intercambiadores (que están sometidos a problemas graves de corrosión por el agua de piscina y la temperatura a que están sometido, que aumenta la corrosión y fisuras), como **la contaminación que se produce por las mismas líneas de suministro de vapo**r (cuando se apaga la caldera, la misma provoca una succión al enfriarse por debajo de los 100ºC, este vacío parcial actúa sobre el intercambiador, succionando la pérdida de agua de piscina por la línea de vapor hasta llegar a la caldera. Para evitar esto, es conveniente la instalación de retenciones en el suministro de vapor y además poner un "rompe vacío", de manera de que no halla depresión en la cañería). Muchas veces el intercambiador pierde más cuando está frío, debido a que del lado de vapor no hay contra-presión para el agua del lado de piscina e inclusive las fisuras se abren más, como en el caso de la unión entre los tubos y las placas. El material de los intercambiadores debe ser muy bien elegido y además se debe contemplar la diferencia de dilatación de los tubos respecto a la carcaza, muchas veces responsable del aflojamiento de los tubos sobre las placas.

**Corrosión sobre los cristales de nivel de caldera.**




También se pueden establecer corrosiones sobre los cristales de los niveles, esto ocurre a medida que aumenta la presión y el contenido de soda libre del agua de caldera (esta falla es muy común cuando se usa agua de pozo ablandada, debido a la alta alcalinidad, bicarbonatos y carbonatos de sodio que se descomponen, dejando la soda libre en el agua de caldera, elevando el PH a valores por encima de PH 12, en estas condiciones la soda libre ataca al cristal, disolviéndolo en la zona donde fluctua el nivel de agua, hasta la rotura del mismo. Aquí la solución al problema es limitar la cantidad de soda por medio de la purga continua o su eliminación parcial antes de alimentar la caldera. Los cristales deben ser sometidos a observación, para cambiarlos antes que se produzca su rotura. Una solución en calderas de alta presión, en donde el problema se agudiza, es la utilización de una placa de mica, que aisle el agua de caldera del cristal).

**CORROSIONES EXTERIORES:**



**CORROSIÓN EXTERIOR EN PLATINA DE CONEXIÓN DE CONTROL DE NIVEL**

**Las corrosiones exteriores de las calderas pueden ser muy importantes, para tener en cuenta: son muchas veces las causantes de gravísimos accidentes.**

**La corrosión exterior son difíciles de ver por estar tapadas por la aislación**. (Las aislaciones no son fáciles de sacar dado que una vez que son sacadas hay que reponerlas, esto genera una negativa de los responsables). **Deberían hacerse inspecciones cada tantos años** (dependiendo de los años de la caldera y su estado) **para observar todo el exterior de la caldera.** Estas corrosiones también podrán estar en la zona de fuego, generalmente debajo de los refractarios o cenizas (debido al azufre del combustible y su condensación en zonas frías formando ácido sulfúrico, a la condensación de ácidos piroleñosos en el caso de la leña, a la presencia de ácidos producto de la mala combustión de los gases cuya combustión no se monitoreado con instrumentos, a pérdidas de agua o vapor que pasan desapercibidas, etc).

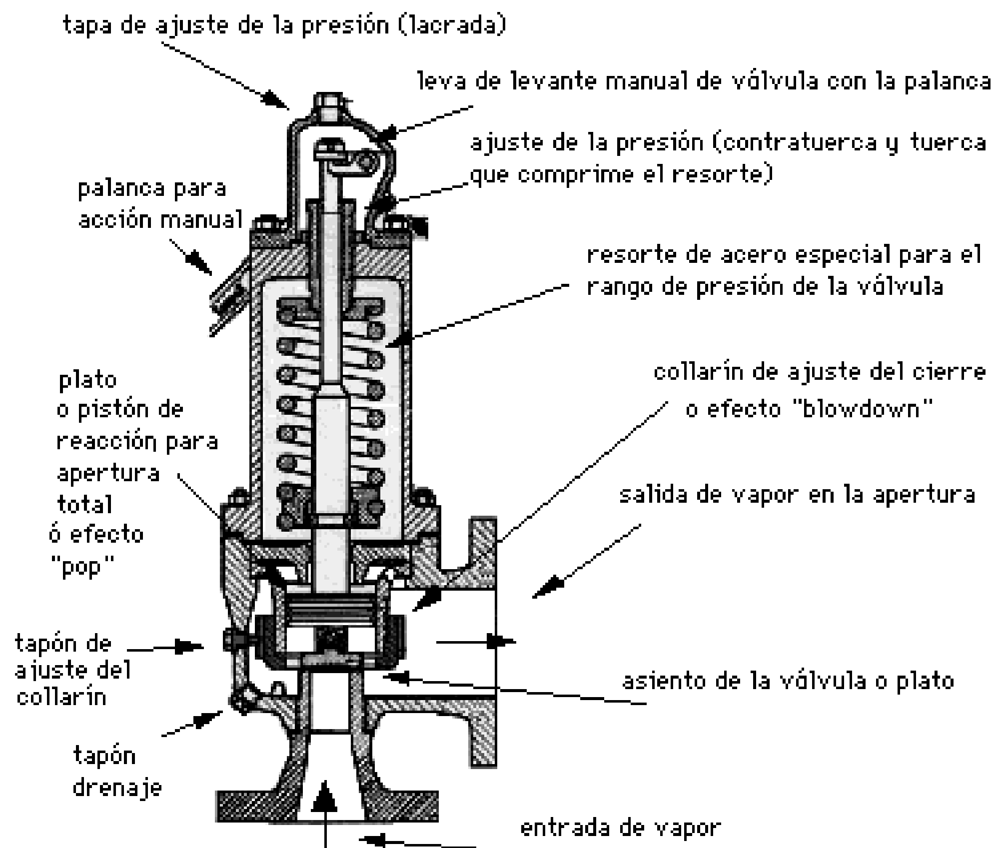
**También hay corrosión por alta temperatura en las zonas donde la combustión afecta directamente al material** y este no puede ser bien refrigerado o protegido. (éstas zonas pueden ser las puntas de tubos, cabezas soldadas de "stays", cabezales planos o colectores horizontales expuestos al fuego, tubos u hogares faltos de buena circulación, incrustados, etc.. En algunos casos a veces es necesario medir espesores para poder evaluar la corrosión, ya que la pérdida de pared del metal puede ser muy pareja y no notarse). Los sobrecalentadores están muy expuestos a esta corrosión.

**En la zona exterior se debe de tener en cuenta las pérdidas de agua o vapor sobre la envuelta de la caldera, debido las válvulas o sus accesorios, que pueda entrar entre la aislación y esta,** provocando una corrosión debido a la humedad y el oxígeno del aire, acelerada por la temperatura. Por lo tanto debemos inspeccionar en las cercanías de estos elementos. Generalmente la pruebas hidráulicas no dan seguridad a la salvaguarda de un accidente debido a la corrosión exterior, estas son mejor controladas en forma visual y con medidas de espesores una vez localizadas.

**Todas estas corrosiones que hemos visto, nos lleva a la conclusión de que las calderas que están fuera de servicio (paradas) se conservarían mejor estando totalmente secas (con elementos que absorban la humedad interior o calefaccionadas para mantenerlas secas) y desconectadas de las cañerías que puedan introducir pérdidas de agua o vapor, o del goteo de aguas de condensación de techos o lluvias exteriores.** La dificultad radica que esta caldera para ponerla en servicio se requieren varias horas de reconexión, llenado de agua tratada y prueba hidráulica de estanqueidad .

**En el caso de caldera conservadas "húmedas" o sea inundadas con agua tratada, en las que se ha usado este método para ponerlas rápidamente en servicio, también se debe de cuidar el goteo de agua exterior sobre la envuelta o chimenea de la caldera, ya que las corrosiones exteriores pueden ser muy importantes en este período.**

Si bien el calor acelera la corrosión, en este caso al estar la caldera fría, el agua entre la aislación o las cenizas no se evapora, manteniendo húmedas las partes una vez mojadas, de manera que la corrosión es permanente sobre estos lugares.




VÁLVULA DE SEGURIDAD DE CALDERA

## 12-VALVULAS DE SEGURIDAD PARA CALDERAS.

**REQUISITOS MÍNIMOS:** (de acuerdo a las normas americanas)

Deben ser del **tipo a resorte** (en URUGUAY **no están aceptadas las válvulas de seguridad con pesas o "contrapeso"**, se aceptan en algunos países Europeos, en ciertas calderas), de **apertura total** (en inglés: **efecto "pop"**), cerrar por debajo de la presión de apertura un % regulado o regulable (presión diferencial de cierre, en inglés: **"blowdown")** y que tengan palanca para la prueba (semanal, etc). Estas condiciones operativas de las válvulas de seguridad para las calderas, hacen que las mismas **abran rápidamente a la apertura total** (no permitiendo el "rayado" de los asientos y pasando a su máxima capacidad de descarga inmediatamente, lo cual hace que la presión no suba más de lo regulado para su apertura en caso que la capacidad de la válvula lo permita, de todas maneras hay un pequeño aumento de la presión entre el comienzo

dela presión de apertura y la apertura total que no es más de 3% de la primera, esto hace que haya 2 tipos de válvulas: una de apertura total inmediata ("**full bore**") y otra que necesita este exceso de presión para su apertura total("**low lift**"). **El cierre por debajo de la presión de apertura**, hace que la válvula no oscile o golpeteé al cerrar, haciendo **el cierre en forma rápida** (esto también asegura que el asiento no se "raye" y quede perdiendo, y que el cierre se produce por debajo de la presión de "timbre" o diseño máxima). La palanca permite la prueba sin necesidad de levantar la presión a la presión de disparo o de "timbre" (la prueba se hace cuando la presión está cerca de la máxima de trabajo, de manera que el esfuerzo para disparar la válvula es mínimo, esta acción mantiene los mecanismos de las válvula libres del "engripamiento", por lo que es importante hacerlo periódicamente (por ejemplo: una vez por semana, en momentos que no sean inoportunos para la producción de vapor).

**¿ Como saber si una válvula es en realidad una válvula de seguridad para caldera una vez que la encontramos instalada y no una simple válvula de alivio?**

**Hacer disparar las válvulas una por una,** levantando la presión y cuidando de **no pasarse de la presión máxima admisible de trabajo** (presión máxima de diseño o "timbre"), en esta caso la válvula deberá abrir totalmente (como quien saca un corcho de una botella) y cerrará a una presión por debajo (apague el quemador). Si no se quiere levantar la presión por encima de la presión regulada por los automáticos (presóstatos), la prueba se hará al probar la válvula con la palanca: al estar la presión máxima de trabajo (corte de presión de la caldera), tirar la palanca, la válvula se abrirá fácilmente y totalmente, deberá cerrar por debajo de la presión de apertura. **Si las válvulas no tienen palanca de prueba**, ya están descalificadas como válvulas de seguridad para caldera, estás válvulas son de alivio para vapor, gases o líquidos (No tienen apertura total ni diferencial de cierre).

**Cuando se compre una válvula de seguridad para caldera:** generalmente esta viene certificada por el fabricante, que ha utilizado las normas de origen. (Es deseable pedir los "folletos" que acompañan la válvula y ver si la misma esta **habilitada como válvula de seguridad de caldera**, si tiene marcada la capacidad, rango de presiones de regulación de apertura, temperatura máxima, etc.)..

Esto es importante también debido a que los materiales deben ser de una calidad que no permitan que la válvulas se "engripen" con las corrosiones o los asientos pierdan. **Los resortes son de importancia en la calidad del material** (que no vayan cediendo con el tiempo y la temperatura) **y en el rango que pueden ser utilizados** (un resorte demasiado comprimido pierde carrera o largo, lo cual disminuye la efectividad de la apertura). **Por esta razón no utilizar las válvulas con resortes fuera del rango recomendado por el fabricante o cambiar los resortes sin tener la calidad y el rango recomendado.**

## CAPACIDAD DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD

**Es evidente que desde el punto de vista práctico las válvulas de seguridad de una caldera deben ser capaces de sacar por lo menos todo aquel vapor que sea generado en la caldera en las condiciones más exigidas** (podría romperse el automático de corte por alta presión y a la vez el mecanismo que regula la máxima combustión: presóstato de alta no corta, en la caldera a leña se abren todos los aires y tiro inducido al máximo o en F.Oíl la entrada del mismo se va al máximo junto con el aire necesario. El único límite a este máximo es la interpuesta por superficie de transferencia del calor de la combustión al agua de la caldera y de la condiciones en que se encuentra dicha superficie: ensuciamiento). **La otra duda sería que pasa si se "tranca" o "engripa" una válvula de seguridad de caldera** (no olvidar que en caso de que los mecanismos que limitan la combustión fallan, el único control sobre la presión límite: **son las válvulas de seguridad**, si la única válvula que disponemos falla, es evidente que corremos grandes riesgos).

**Algunas normas** (ASME, de U.S.A.) indican respecto a la capacidad de las válvulas de seguridad lo siguiente:

**1-Toda caldera** cuya **superficie de calefacción sea más de 500 pié cuadrado** (aprox. 46 m2., ó 500 Kw de potencia) **deben tener 2 o más válvulas.**

**2-Que la capacidad de las válvulas de seguridad no permita que la presión pueda subir por encima del 6% de la máxima presión permitida de trabajo, o sea de diseño** (en inglés "maximun allowable working pressure", antiguamente llamada presión de "timbre") y por encima del 6% de la presión de regulación de apertura de las válvulas. En las normas Alemanas en vez del 6% se permite un 10% para el exceso de presión sobre la presión máxima de trabajo (diseño). De la misma manera que la **presión de cierre** ("blowdown") en las normas U.S.A. es de un máximo 6% por debajo de la presión de **apertura**, cuando en las normas Alemanas es del 10% (pero este diferencial de cierre o "blowdown" no puede ser menor a 1libra/pulg.2 o 2 libra/pulg.2, según sea el rango de presión de la válvula, para asegurar un cierre "franco", como se indica a continuación). Lo que **debe quedar claro**, es que **el cierre debe ser "franco"** (rápido) y **no "golpeteando"**, ya que no solo se raya el asiento o la válvula queda perdiendo, sino que puede llegar a oscilar "golpeteando" el cierre ("inglés : "chattering", de tal manera que puede llegar hasta la destrucción de la válvula, cuya solución única es de ir aumentando el diferencial de presión de cierre hasta que la válvula cierre correctamente, quizás siendo en algunos casos, este diferencial mayor al indicado anteriormente). Supuestamente este ajuste del diferencial debería venir ajustado de fábrica y sellado ("lacrado").

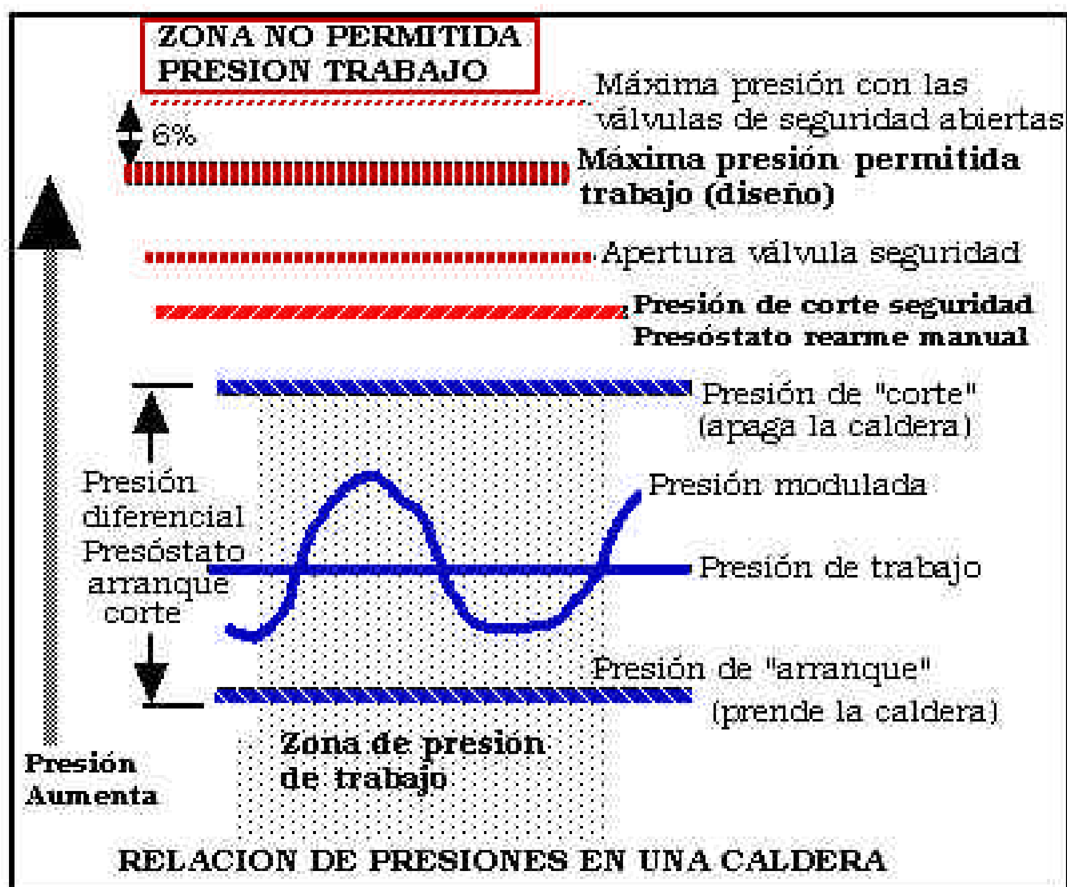
**Lo que debe quedar claro, que la máxima presión permitida de trabajo** (diseño)**, no es la presión real de trabajo** (o sea, que en esta presión no se trabaja, se puede llegar a ella ya con por lo menos con una válvula de seguridad abierta, abriendo todas las demás **de tal manera que nunca** ( **nunca**, **bajo ninguna circunstancia con la caldera vaporizando**) **se llegue a una presión por encima del 6%** (o el 10% en caso de la norma alemana).

**Por lo que la presión real de trabajo, debe ser por debajo de la presión máxima de trabajo permitida** (diseño), **un valor que permita la modulación del quemador con la presión y a su vez por encima de esta modulación, una presión de corte de combustión por alta presión** (en caso que el quemador modulante por alguna razón permita que la presión suba hasta el límite de corte), **recién por encima de la presión de corte estará la apertura de la primer válvula de seguridad, valor que podrá estar por abajo de la máxima presión permitida de trabajo** (diseño), **pero nunca por encima, no pudiendo permitirse que la presión siga subiendo más que un 6%** (10% en normas alemanas) **ya con todas las válvulas de seguridad abiertas. Entre el presóstato de corte por alta presión y la presión de apertura de la primer válvula de seguridad, es conveniente que exista una presóstato de corte por máxima presión de corte de seguridad** (con un presóstato especial que abre el circuito y apaga el quemador si falla el presóstato de corte por alta presión, pero que tiene la particularidad que **no se vuelve a "cerrar" el circuito si el foguista no actúa restableciendo** un "reset" o sea un "botón" de rearme manual, de esta manera el foguista queda avisado que hay un falla en el sistema de control de la presión o sea que el quemador no apaga a su presión de corte normal, por lo tanto podrá investigar la misma antes de volver a poner en marcha).

**Veamos un ejemplo:** tenemos una caldera cuya **presión de trabajo debe ser 10 Kg/cm2,** es evidente que **si la modulación del quemador es continua**, habrá una variación de la regulación que podrá ser aprox. de más-menos 0,3 Kg/cm2 (9,7 Kg/cm2 a 10,3 Kg/cm2), por lo que habrá un **presóstato de arranque** (**y corte**) que podría ser a 9,5 Kg/cm2 (que se regula con la presión diferencial del presóstato de arranque-corte o sea que hay en este caso un diferencial ajustado por debajo de la presión de corte en 1 Kg/cm2) y **este presóstato de corte por alta presión regulado a 10,5 Kg/cm2 para que apague el quemador** (regulado a una diferencia de 0,2 Kg/cm2 mayor a la variación más alta de presión de trabajo de modulación o algo más).

**Por encima de la presión de corte, sería conveniente que hubiera un presóstato de seguridad de máxima presión de corte** (con rearme manual, pero si es un presóstato con diferencial y no de rearme manual,

convendría que el diferencial estuviera ajustado al máximo o sea, que el presóstato no habilitara al quemador hasta que la presión baje a un valor bajo, de manera de indicar que ha accionado el presóstato de máxima-máxima, indicando una anormalidad a revisar), **que podrá estar unos 0,250 Kg/cm2 por encima de la presión de corte** (10,750 Kg/cm2). **Es evidente que la máxima presión permitida de trabajo** (diseño) **deberá estar por encima de esta presión aprox. 0,5 Kg/cm2** (valor que podría tener el error de apertura de las válvulas de seguridad), **por lo que la esta presión máxima permitida de trabajo** (diseño) **deberá estar en por lo menos 11,3 Kg/cm2. Regulando por lo menos la primer válvula de seguridad por debajo de esta presión y la apertura de todas las válvula no deberá permitir que la presión** (bajo ninguna circunstancia) **suba de 11,3 x 1.06= 12 Kg/cm2.** (o de 11 x 1,10= 12,5 Kg/cm2 en las normas alemanas). En la práctica, generalmente, disponemos que todas las válvulas estén abiertas antes de llegar a la **presión de máxima presión permitida de trabajo** (diseño).



**CALCULO DE LA CAPACIDAD DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

Hay más de una forma de **calcular la capacidad necesaria de la válvulas de seguridad , unas teóricamente y otras de carácter práctico**. La primera se basa en la **computación de las superficies de transferencias térmicas** y **el cálculo basado en la transferencia máxima teórica asignada por unidad de superficie** para cada combustible, ejemplo: esta superficie se divide en superficie de calentamiento y superficie expuesta a la combustión, a cada una se le asigna una determinada capacidad de vaporización. Ejemplo: En una caldera humo-tubular quemando F.Oíl se asignará 39 Kg. vapor por m2/hora a la superficie calentada por los gases y a la superficie calentada directa por la combustión de 68,3 Kg. vapor por m2/hora. Multiplicando cada superficie por la respectiva vaporización y sumando obtendremos la capacidad mínima necesaria para las válvulas de seguridad.

**A este cálculo teórico, se pueden agregar las pruebas prácticas-teóricas:** Esta consiste en forzar la combustión y medir la cantidad de vapor, esto se puede hacer de 2 maneras diferentes : 1- midiendo la cantidad de combustible quemado por hora y haciendo cálculos basados en el Poder calorífico del combustible, calidad del vapor generado (presión y temperatura) y rendimiento de la caldera, se calcula la cantidad de vapor hora. 2- Midiendo la cantidad de agua de alimentación por hora y considerando que esta se hará todo vapor.

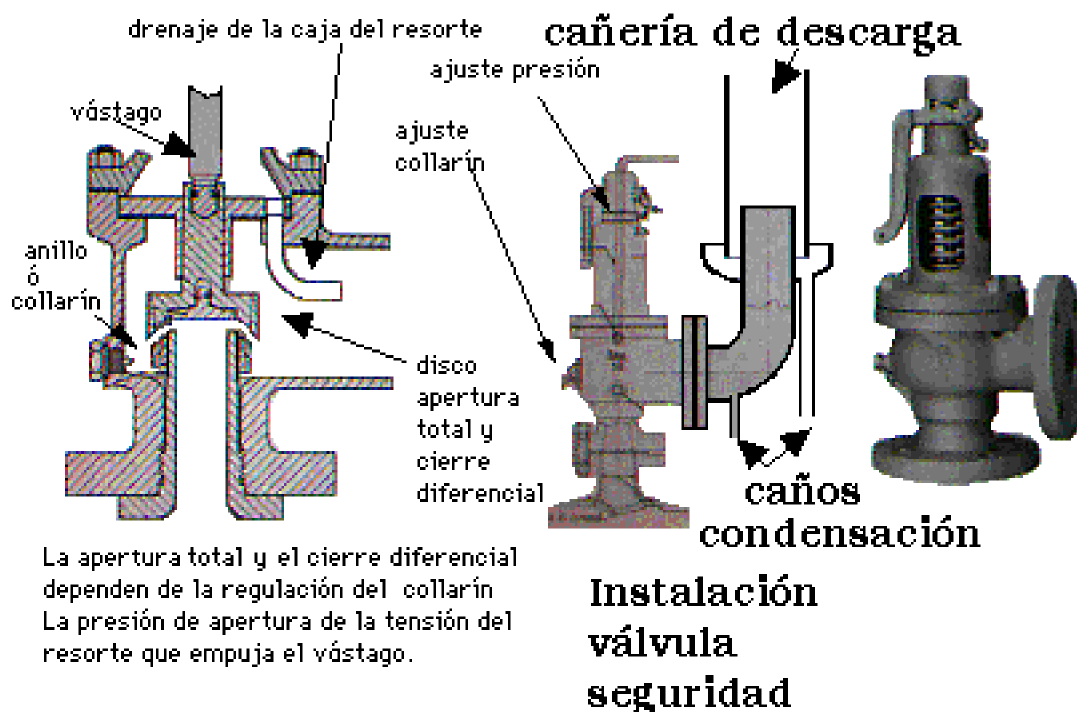
**Luego de que las válvulas están instaladas, se deberían comprobar si se cumple que forzando la combustión estas no permiten que la presión suba por encima de la presión máxima de diseño o "timbre" y que si lo hace no pase del 6% de la misma.** (o del 10% si nos atenemos a las normas Alemanas).

Hay otras normas, según sea el país de origen.

Lo importante para el Foguista, es tener la certeza de que las válvulas son las adecuadas (tipo, dimensión , material), que semanalmente si es posible se puedan probar con la palanca y que periódicamente (cada año por lo menos, con la ayuda de otro técnico si fuera necesario) se hagan disparar subiendo la presión de trabajo hasta la de " timbre" (cuidando de no pasar dicha presión más del 6% por encima). Probada la primer válvula, proceder a "acuñarla" (trancarla) y probar la segunda que se encuentra un poco por encima de la presión de disparo que la primera.

**No olvidar que las calderas con vapor sobrecalentado, la válvula de seguridad del sobrecalentador (especial por la temperatura) debe abrir primero que las otras y cerrar por último, de manera que nunca falte circulación de vapor en el sobrecalentador** (de los contrario se "quemaría" por alta temperatura)**.**

La instalación de las descargas de las válvulas deben ser lo más libre posibles, evitando codos o ramales, manteniendo la sección de la cañería y que no sean demasiado largas, y afirmadas fuertemente. Es importante evitar que la condensación retorne hacia las válvulas, haciendo las caídas hacia la descarga y poniendo drenajes donde sea necesario (casi siempre contra la válvula y evitando que el drenaje caiga sobre la caldera, poniendo un caño para desviarlo de la envuelta). Una mala instalación de la descarga de las válvulas seguridad puede ser la limitante de la capacidad necesaria para evitar que la presión siga por encima de la máxima tolerable (%6 sobre la máxima presión permitida de trabajo (diseño), por esta razón las pruebas reales de descarga son muy importantes.




**13-EMPAQUETADURAS Y JUNTAS**

Las empaquetaduras y juntas son elementos **utilizados para "sellar" o evitar la pérdida de los fluidos** (líquidos, gases, vapor, etc.) que se encuentran a mayor ó menor presión (vacío) que la del medio que rodea al producto a confinar.

**Los materiales utilizados** pueden ser los más variados, tendiendo en consideración **la presión que deben soportar , la temperatura, los esfuerzos mecánicos, el ataque químico de los fluidos, la contaminación del producto**, etc.

Por ejemplo: la empaquetadura de una bomba para ácido (ej. : ácido sulfúrico) no es igual a la de un álcali (ej. : como la soda), la velocidad del eje de la bomba ( 300 rpm ó 2800 rpm), etc. Una junta de una cañería para vapor que trabaja a 10 Kg/cm2 ( debe soportar unos 183ºC), pero si el vapor estuviera recalentado a 340ºC las condiciones térmicas son diferentes, etc.

**La instalación y apriete**, tanto de las juntas como de las empaquetaduras también son importantes. Una junta ancha para un mismo apriete, se comprime menos que una junta angosta (debido a que la presión es mayor en la junta angosta debido a la menor superficie P= F/S). El apriete de una platina debe ser hecho en forma cruzada, de manera que la fuerza quede distribuida en forma pareja para mantener el paralelismo de la platina. Una empaquetadura debe ser apretada en consideración al tipo de lubricación de la empaquetadura, si la pérdida del propio fluido es quien la lubrica (en el caso del agua debe haber una pequeña pérdida que sirve de lubricación y enfriamiento, generalmente una a dos gotas por segundo) ó si hay un fluido externo de lubricación y enfriamiento (que además no permite la pérdida hacia el exterior del fluido a sellar, pero sí puede llegar a introducirse en el fluido sellado).

**Las empaquetaduras en actualidad tienden a ser sustituidas por sellos mecánicos**, y **las juntas por "formadores de juntas" a base de pastas o elementos que tienden a tomar cierta dureza con la temperatura**, **el oxígeno del aire o la falta del mismo, ó la mezcla de dos productos (tipo epoxis).**

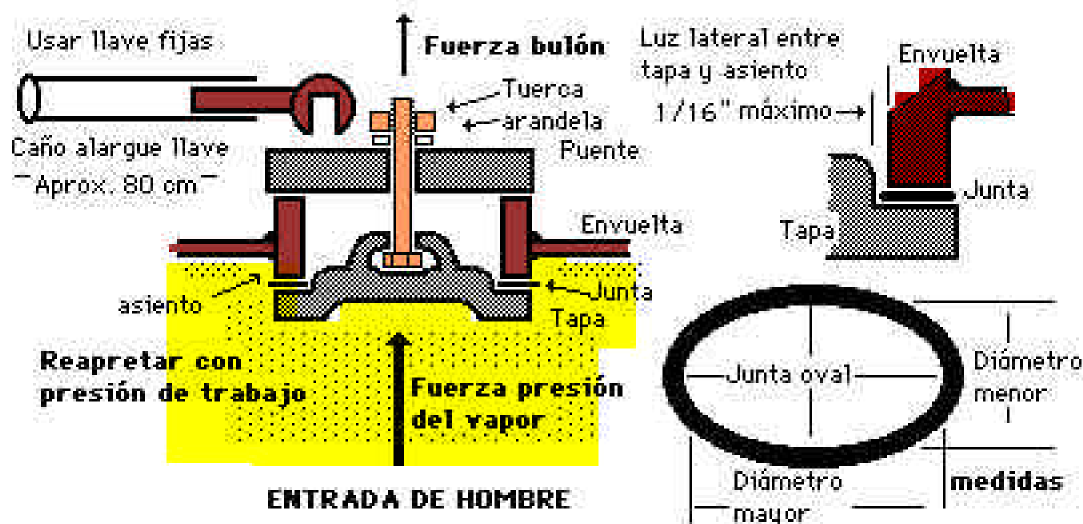
Veamos un poco los distintos problemas más comunes y su práctica de resolución:

**Juntas de "entrada de hombre",** juntas de **"entrada de cabeza",** juntas de **"entrada de mano":**

Para **bajas presione**s (menos de 15 Kg/cm2) generalmente **son de amianto** (un tipo de asbesto más sedoso, de fibras largas y flexibles, material que no debe respirarse las fibras, ya que son cancerígenas) trenzado, (como una tela doblada formando un aro o ya con la forma elíptica u oval del asiento de la junta y cocida en la unión ("engomada" con pasta y grafito). Vienen con grafito en escama en su parte exterior para evitar su "pegado" y mejorar su "deslizamiento" (lubricación) al apretarla. Para pedirla se debe de dar las medidas de los diámetros de la elipse (junta tipo OVAL, el diámetro mayor y menor). Antes de sacar la tapa es conveniente "romper el vacío" (la caldera por debajo de 60ºC), preveer que no se caiga nada en el interior de la caldera (en las tapas a veces conviene soldar un aro o arandela para atar un alambre o cable de seguridad). Sacar el puente y golpear con una maceta con un taco de madera sobre un costado de la tapa (con cuidado !!!!). Para instalarla se debe de limpiar correctamente el asiento de la junta en la tapa de la entrada y en el asiento de la junta sobre la envuelta (rasqueteando y cepillando bien, pero evitando tomar material del asiento o rayarlo, ya que el mismo quedará perdiendo si se daña, en caso que el asiento se encuentre en malas condiciones debe ser "rellenado" y rectificado correctamente). Una vez limpios los asientos, se monta la junta sobre la tapa y se introduce en la caldera, ajustada con la tuerca de los puentes a mano (previo cepillado y lubricado de las roscas con grafito en escama con aceite "grueso" o valvulina o grasa). Apretar luego **alternativamente las tuercas montadas** sobre arandelas con una llave con buen mango (largo). **Luego que se levante presión se deberá reapretar nuevamente con mucho cuidado** (esto se debe a que la junta cede con la temperatura y la presión interna de la caldera : una entrada de hombre tiene como 1000 cm2. de superficie y con una presión de 10 Kg/cm2, esto significa una fuerza apretando la junta de 10.000 kg. cuando la caldera está con presión, que luego al parar quedará sin esa fuerza, más bien empujando la presión atmosférica por el vacío provocado al condensarse el vapor, permitiendo que la junta se afloje y quede perdiendo. **No se debe dejar una junta perdiendo, puede afectar el asiento y la humedad de la pérdida produce corrosión.**

**Cuando la presión sea mayor a 15 Kg/cm2,** puede ser aconsejable la utilización de **juntas prefabricadas con material de soporte** (con inserción o mallas hasta 21 Kg/cm2 y a mayor presión como las **espirometálicas ó juntas forradas en cobre o bronces**, como las juntas de cilindros de los automóviles). Estas juntas también deben ser cuidadosamente instaladas y reapretadas, siguiendo las instrucciones del proveedor. La utilización de pastas de sellados debe ser tenida en cuenta en algunos casos, pudiendo no ser aconsejable la utilización de grafito cuando la junta puede provocar una corrosión en el asiento (caso de las espirometálicas de acero inoxidable, se produce una corrosión galvánica que "come" al asiento de hierro de la caldera y la tapa). También se utiliza en estos casos grafito o grasas especiales para las roscas.Cuando sea necesario hacer pruebas hidráulicas de presión alta (pruebas de resistencias) las juntas deben ser cambiadas luego de la prueba, a veces es aconsejable utilizar para la prueba juntas hechas con materiales más económico que soporte la presión (la temperatura será la de ambiente) y luego se pondrán las correctas.

**Se reitera, no dejar las juntas perdiendo mucho tiempo, se "rayan" los asientos y se corroe la tapa o el asiento de la envuelta.**




**Juntas de platinas**

En este caso tengase en cuenta también las presiones para la utilización de las juntas, en baja presión generalmente las juntas deben ser cortadas de hojas de distinto espesor. El espesor adecuado de la junta es aquel que utilizando el más fino que nos permita la terminación de los asientos (cuanto más perfecta sea la superficie de los asientos más fino podrá ser la junta y mejor será su sellado). A medida que la presión y la temperatura aumenta, la junta podrá tener materiales para mayor temperatura e inserciones metálicas que mejoren su condición para soportar la presión (mallas de alambres, "virutas" de metales, etc., hasta llegar a las juntas preformadas del tipo espirometálicas, usadas en alta presión y temperatura). La junta debe ser cortada correctamente, de manera que ocupe la superficie en que junta la zona de sellado (al pretender hacer una junta demasiado grande, se distribuye la presión de los tornillos y la presión de sellado sobre la junta es pobre, no apretando bien y permitiendo la fuga). **Limpiar bien las superficies a sellar de la platina** (las ranuras en caso que las tenga), poner si es necesario algún sellante y lubricante (en caso que la junta ya no sea grafitada, éste puede ser grafito en escama preparado o algún otro comprado al efecto, aunque el grafito no debe ser usado cuando las juntas son de metal noble, así como las juntas espirometálicas en alta presión, el grafito puede provocar corrosión en el asiento, en este caso solamente se deben limpiar muy bien las superficies en contacto con la junta). **Verificar la alineación de los asientos**. **Limpiar y lubricar** (grafito u otros) las roscas de los bulones. Apretar parejo y alternado como si fuera la tapa de un motor (la presión de apriete dependerá de la presión de la platina, la calidad adecuada de los bulones, que generalmente estarán de acuerdo a la presión del fluido y definido por la platina (las platinas están normalizadas de acuerdo al trabajo que harán: presión y temperatura, diámetro de cañería, etc., generalmente por Series 150-300-600-900 ó PN 10-16-25-40, etc., o las normas utilizadas al respecto). Las platinas no deberían ser reapretadas sin antes cerrar el fluido que conducen, cuidando mucho de no "estirar" los bulones que se debilitarán (se puede utilizar una llave con medida de torsión).

**Como ejemplo podemos decir que :** un tornillo o bulón de 1/2" de 13 hilos por pulgada una torsión máxima es 4 Kg-m (kilogramos por metro, es decir que en una palanca de 1 metro una fuerza de 4 kilogramos, esto significa un apriete de 1820 Kg. por tornillo), un tornillo 5/8" 10 hilos/pulg. una torsión de 8 Kg-m., etc. Esta torsión depende de la calidad de los tornillos. Cuanto más fino sea el pase mayor será la fuerza para una misma torsión.

Como un sellante para el caso de que las superficies no estén bien, que además sirve para las roscas, se puede hacer el siguiente: Hervir aceite de linaza hasta concentrar como una "miel" fría, tomar una medida de grafito en escama y una medida de "minio en polvo" (según sea la cantidad a usar, ya que se endurece), mezclar con el aceite de linaza hasta una consistencia de pasta deseable, poner en ambas caras de la juntas, apretar (ésta pasta se secará, sellará, pero podrá despegarse cuando sea necesario). No confundir con el litargirio ( glicerina y litargirio), muy usada en baja temperatura y como sellantes de varios fluidos de difícil sellado, como los combustibles, aceites, refrigerantes, etc.

**Como regla práctica** para el uso de las juntas, un fabricante a establecido, que las mismas pueden ser usadas hasta el límite numérico que sale de multiplicar la presión en libras/pulgadas cuadradas (Lb/#) por la temperatura de servicio en grados Fahrenheit (ºF):

| **Material** | **Máximo P x T** | **Temperatura máxima ºF** |
|---|---|---|
| Goma | 15.0000 .................................. | 300 |
| Fibras vegetales | 40.0000 ..................................... | 250 |
| Teflón sólido | 75.000 .................................... | 500 |
| Tela asbesto engomada | 125.000 .................................... | 400 |
| Asbesto comprimido | 250.000 .................................... | 850 |
| Tipos de metal | arriba de 250.000 ................ | depende metal |
| | (el amianto es un tipo de asbesto) | |

**Recordar que:** 1 Kg/cm2 es igual a 14,22 Lb/# y que ºF= 9/5 x ºC + 32

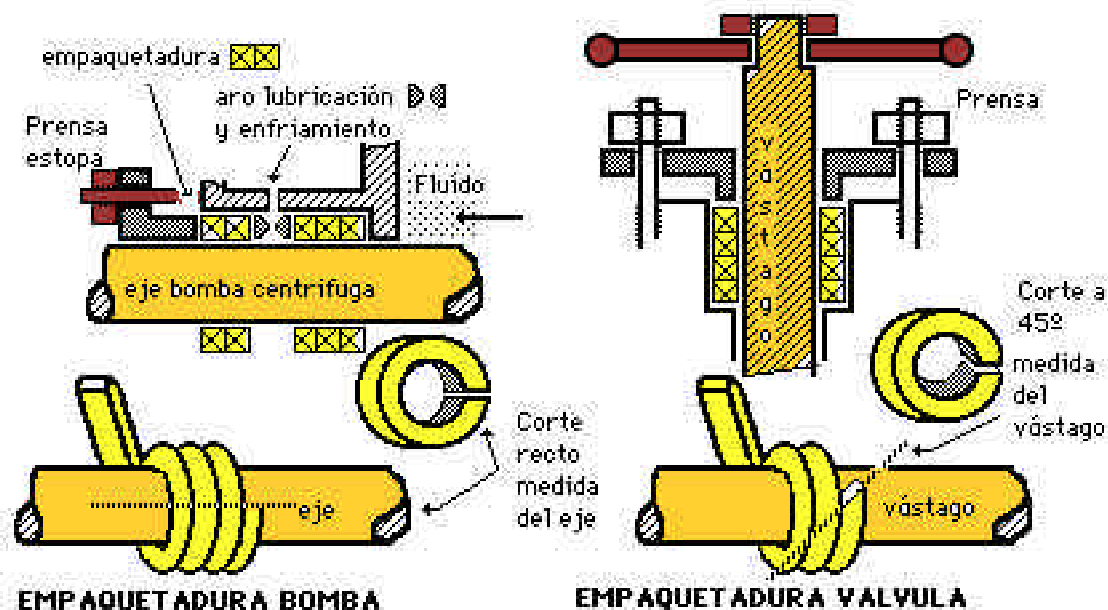
## EMPAQUETADURAS :

Las mismas sirven para el sellado de vástagos de válvulas, ejes de bombas, etc. El material es muy variado, siendo aún muy utilizadas las de asbesto (amianto), pasando ahora por el teflón y el grafito (sintético). Pueden venir como pastas, pero generalmente vienen como cordón o cinta.

**La técnica entre el empaquetado de un eje de bomba y una válvula es distinto.**

Para cortar la empaquetadura, según sea bomba o una válvula, debemos tomar un trozo de caño o eje de igual diámetro al eje de la bomba o al vástago de la válvula. Envolvamos unos rollos de empaquetadura sobre dicho "eje" y cortemos la empaquetadura con un cuchillo muy filoso, teniendo en cuenta que para las **bombas el corte será recto** (corte longitudinal al centro del eje, de manera que al apretar el prensa estopa la misma se aprieta al aplastarse en forma leve sobre el eje y la caja, en forma elástica, permitiendo el giro del eje y su lubricación con el fluido a sellar o el auxiliar, el cual debe perder una a dos gotas por segundo, preferiblemente más al principio) y para una **válvula será un corte a 45º** (el corte a 45º con respecto al eje, de manera que la empaquetadura al ser apretada por el prensa estopa tiende a cerrar sobre eje y la caja, cerrando el pasaje del fluido).

**Al montarse las empaquetaduras, estas deben de distribuirse los cortes a los largo de la circunferencia (sacar bien la empaquetadura "vieja" con un tirabuzón o un alambre de acero con enganche). No apretar excesivamente al principio, preferible que pierda de más y se vaya ajustando de a poco (apretando las tuercas de poco e iguales ).**




**Como regla general** nunca arranque una bomba sin el fluido a bombear o sin abrir el agua de sello y lubricación de la empaquetadura, ya que la falta de lubricación no sólo provocará la "quemadura" de la empaquetadura, sino que también puede afectar los aros de desgaste interno de la bomba (también las bombas centrifugas deben ser arrancadas con la válvula de descarga cerrada cuando su potencia es más de 10 HP, es decir, arrancarlas sin carga, pero "inundadas" ).

Las válvulas de algunos equipos, como los de frío (amoníaco) deben ser aflojados sus prensas para maniobrar con la válvula y luego volverlo a apretar una vez en posición la válvula, de esta manera se evita la pérdida.

**Cuando una empaquetadura** tanto de una bomba como de una válvula tienden a perder demasiado rápido, es hora de proceder a reparar tanto el eje de la bomba o al vástago de la válvula (que puede estar torcidos o descentrados, como así rayados). En algunos casos las bombas tienen un casquillo de desgaste que puede ser rectificado o cambiado, ó de lo contrario habrá que mandar a "rellenar" el eje (sin que se "tuerza") y rectificarlo (pudiéndose en algunos casos rellenar con cromo duro en frío y luego rectificarlo) u otras es necesario confeccionar el eje nuevo con el material adecuado (especialmente si hay corrosión).

**El asbesto** (amianto)**, es un material que se debe evitar respirar sus "fibras", ya que introducido en los pulmones, puede provocar lesiones cancerosas. SU UTILIZACIÓN TIENDE A DEJARSE POR ESTA RAZÓN.** (en algunos países ya se encuentra prohibido, especialmente el asbesto "azul" que fue muy utilizado en aislaciones térmicas y acústicas).

**UNIONES ROSCADAS :**

Las **uniones roscadas en tuberías** (las roscas tipo caño en general tienen un conicidad que hace que al ser apretadas la rosca "macho" se aprieta contra la rosca "hembra"), pero igual deben llevar algún elemento "sellante" para evitar la pérdida del fluido entre las roscas. Este elemento sellante también dependerá de la temperatura y del tipo de fluido (agua, vapor, nafta, F. Oíl, etc). Hoy en día se utilizan elementos como la "cinta de teflón", teflón en "pastas", también son muy buenas aquellas preparadas con: Albayalde ó minio en polvo con aceite de linaza recocido, litargirio con glicerina, en agua fría puede ser "filástica" con restos de pintura algo endurecida, etc. (se debe de cuidar de **no poner en las tuberías de oxígeno pastas que contengan elementos "combustibles"**,

se debería usar litargirio con agua o teflón adecuado a este uso). Hay otros productos comerciales preparados, que el fabricante indica la forma correcta de uso.

**Litargirio** (amarillento): óxido de plomo PbO; **Albayalde** : carbonato básico de plomo usado como pigmento blanco; **Minio** (rojo): óxido de plomo Pb3O4.....todos éstos **derivados de plomo son venenosos**. La **glicerina** : se obtiene como subproducto de los aceites y grasas, no usarla en el oxígeno.

## 14- SECADO DE LA LENA:

La humedad de la leña se expresa (en el caso para su uso en calderas) en **Base Húmeda= %Hbh** (por ciento Humedad base húmeda)

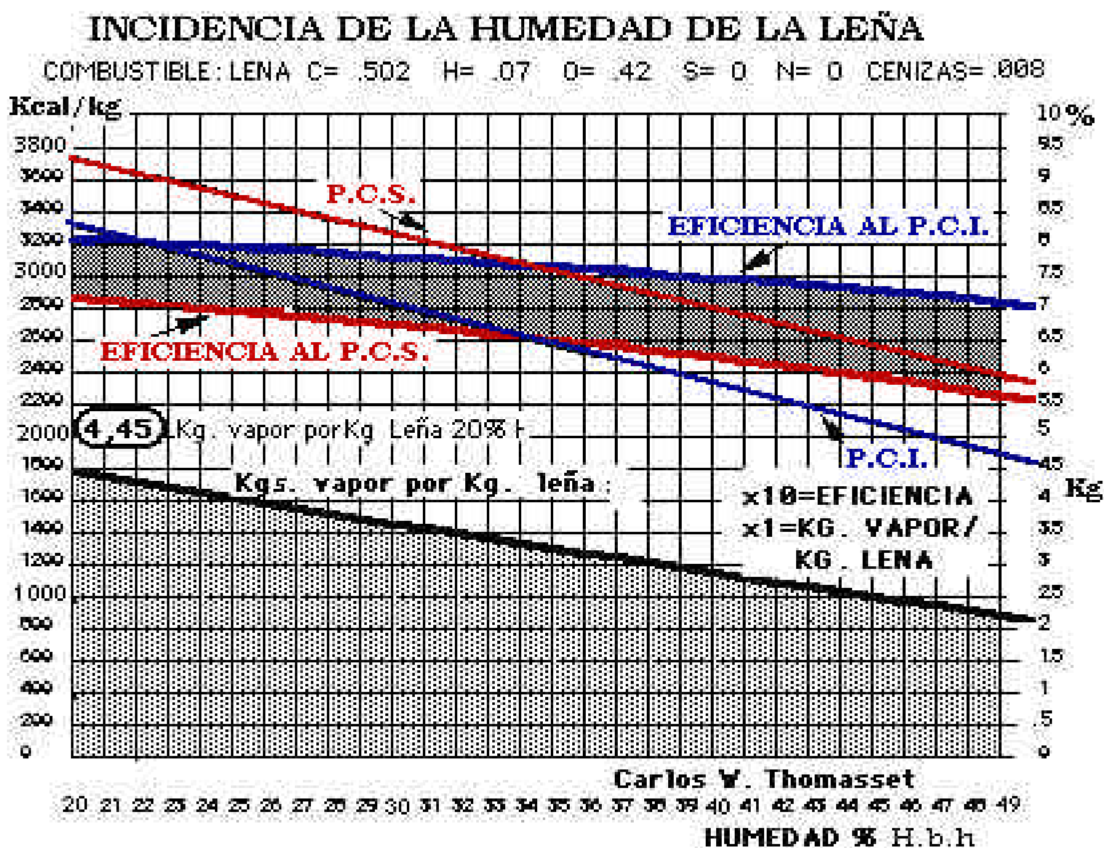
**Por lo que cuando se hace la medición de humedad, se pesa una cantidad de leña en las condiciones de humedad (Ph) y se seca hasta valor constante de su peso (Ps), por lo que para calcular el %Hbh es igual :**

**%Hbh=[ ( Ph-Ps) /ph] x 100 =** (% Humedad en base húmeda)**.**

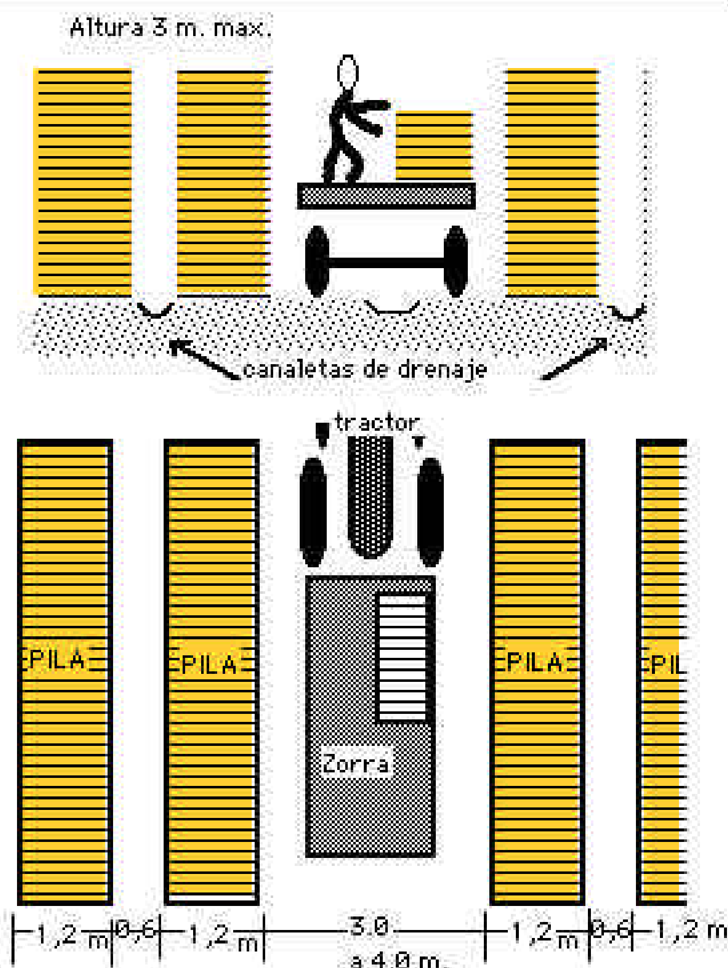
En caso que se compre la leña basado en una determinada humedad, para hacer el cálculo "equivalente" (en valor energético o sea su equivalente a peso seco: Ps) de un peso A a un peso B , se puede utilizar el siguiente cálculo:

**PhB = (1- %HbhA/100) x PhA / (1-%HbhB/100)**
%HbhA = % Humedad base húmeda peso A
%HbhB = % Humedad base húmeda peso B
PhA = Peso húmedo A , PhB = Peso húmedo B a calcular.

Veamos la importancia del contenido de humedad de la leña (expresada en base húmeda) en los valores relacionados con la generación de vapor.




En **el gráfico anterior** (a la **izquierda** en las ordenadas, las Kcalorías de los **P.C.**, en la **derecha**, las ordenadas **x10** las **Eficiencias** y por **x1**, los **Kg. de vapor por Kg. de leña**, como abscisas la humedad de la leña en base húmeda: **H.b.h**.), vemos que la humedad de la leña entre 20% H.b.h. a 49%H.b.h., los Poderes caloríficos bajan en una curva descendente (disminuyendo más el P.C.I. debido al contenido del agua por la humedad que aumenta), que hace que la Eficiencias también bajen. **Esto se refleja más en que con una humedad del 20% H.b.h. se producen 4,45 Kg. de vapor por Kg.Leña, pero cuando la humedad aumenta al 49% H.b.h., solamente se pueden producir unos 2,25 Kg.vapor por Kg. de leña** (hemos supuesto que el exceso de aire es el doble que la humedad en %, operando una caldera con valores que se han mantenido constantes, salvo el exceso de aire).



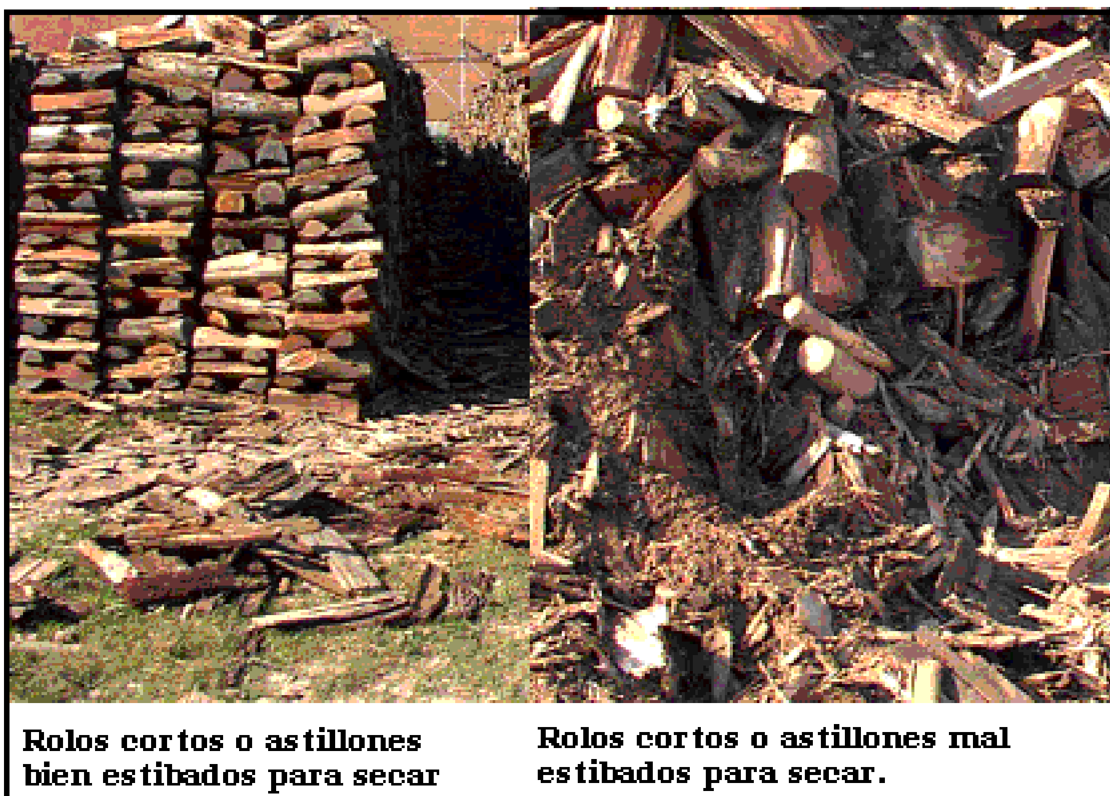

El secado de la leña es muy importante, ya que la misma puede al ser mal estacionada, no sólo lograr un mal secado (la humedad no baja en el tiempo previsto), sino que se pueden producir pérdidas de diversa índole: putrefacción biológica ("ardido", "fermentación",etc.), pérdida de volátiles ("destilación"), pérdida por ataques de insectos, etc. Debido a todos estos factores, la leña se debe secar en el mínimo tiempo y en las mejores condiciones para que las pérdidas sean mínimas, para ello es aconsejable seguir los esquemas anteriores y siguientes.

**Los vientos son fundamentales para el secado de la leña**, ya que "seca" más una corriente de aire que la presencia del sol sobre la leña (sólo la leña en la parte superior recibe el sol). Por lo tanto debemos **disponer las pilas en una orientación en que los vientos predominantes las atraviesen por el interior de los rolos y de las pilas**.

De la misma manera debemos drenar todo el estacionamiento para que no se acumule agua. Evitar el "enyuyamiento" de las pilas, usando para ello un "matayuyos" o limpiando cada tanto. Y también no está demás utilizar algún insecticida que sea efectivo para eliminar insectos "comedores o depredadores de la madera" (la utilización de estos elementos deben ser consultados a Ing. agrónomos).

**Disposición de las pilas de leña respecto a los vientos**



**Rolos cortos o astillones bien estibados para secar** | **Rolos cortos o astillones mal estibados para secar.**

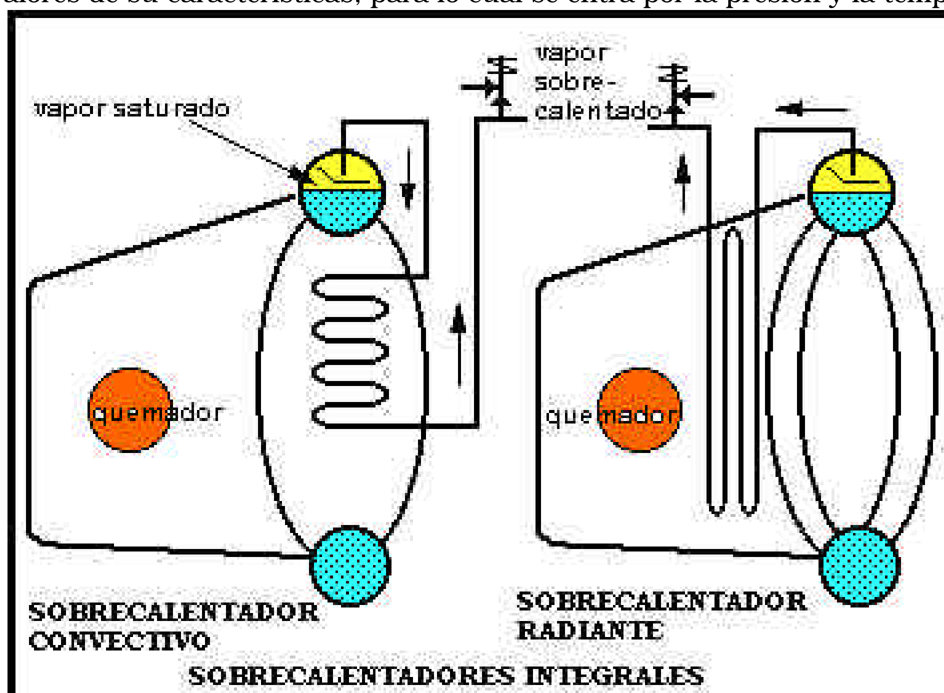
**No se debe "apilar" la leña a secar en montones en forma de que no circule el aire** (el caso en que la misma se tira desde los camiones, tanto sea por el hombre como utilizando la volcadora del camión). Dejar el campo de secado libre de árboles en su perímetro o en su interior.

**Las pérdidas pueden ser tan grandes como el 30%** o **más** del valor calorífico de la leña secada en buenas condiciones.

## 15-EL SOBRECALENTADOR

**El vapor sobrecalentado es el vapor saturado que se ha "sobrecalentado"** (**vapor saturado**, vapor que está en contacto con el agua que lo produce, ambos a la misma temperatura y presión, en equilibrio, el vapor podrá tener humedad, pero no podrá tener una temperatura superior a la del agua que lo produce, ver tablas de vapor saturado. En caso que el vapor saturado sea húmedo, para comenzar a ser sobrecalentado, recibirá primero calor, evaporando dicha humedad o "gotitas", manteniendo la misma temperatura hasta que sea vapor saturado "seco") **este vapor saturado "seco" se calienta por encima de la temperatura de saturación, al pasar por una zona en que recibe más calor que no aumenta su presión pero sí su temperatura** (por ejemplo: un vapor a 10 Kg/cm2 está saturado a una temperatura de 183ºC, si este vapor recibe más calor al hacerlo pasar por una zona en que hay mayor temperatura, **su temperatura subirá a más de 183ºC, pero su presión no subirá ni bajará de 10 Kg/cm2**, **si no se le comprime o si no hay pérdida de carga** ). Podemos decir que el vapor saturado **puede ser húmedo o seco** (sin gotitas de agua), **el vapor sobrecalentado es vapor seco**, su comportamiento se parece a los gases.

**¿ Para qué sirve el vapor sobrecalentado?** Cuando es necesario accionar una turbina de vapor, si se utilizara vapor saturado, se formarían "gotitas" en el vapor al enfriarse el mismo, que a la velocidad que va el vapor a accionar las "paletas" de la turbina, serían como "balines" que romperían el metal al impactar con dichas "paletas" (álabes) . También en algún uso de transporte de vapor o alguna máquina de vapor, para asegurarnos que el vapor llegue "seco" (sin gotitas o humedad). **El vapor sobrecalentado no es bueno para la transferencia térmica, ya que tiende a comportarse como los gases** (los que requieren mayor superficie de transferencia, por eso son aleteados los intercambiadores de gases o aire). Hay tablas para vapor sobrecalentado, en el cual se dan los valores de su características, para lo cual se entra por la presión y la temperatura.




**Los sobrecalentadores, generalmente se justifican en las calderas de generación de energía** (en donde hay turbinas que accionan máquinas o generadores eléctricos, o la propulsión de un barco). **Por lo que se instalan en general en calderas acuo-tubulares**

(debido a que se utilizan medias y altas presiones, ya que en las calderas humo-tubulares no son realizables por la presión y las grandes capacidades que son necesarias),. **Aunque puede haber algunas calderas humo-tubulares con un pequeño sobrecalentador** (generalmente en la caja de humo) **para un pequeño sobrecalentamiento del vapor para su traslado o uso especial** (este sobrecalentamiento es de unos 15ºC a 50ºC y no mucho más, cuando en las calderas acuo-tubulares el sobrecalentamiento es de de cientos de grados centígrados, como ser hasta más 300ºC en algunos casos).

En el caso de las **calderas humo-tubulares** los sobrecalentadores son integrales a la calderas (es decir que están siempre en el circuito de vapor de la caldera y de los gases, su sobrecalentamiento está de acuerdo al diseño y es muy poco lo que puede hacer variar el sobrecalentamiento el operador de la caldera.

En las **calderas acuo-tubulares**, el sobrecalentador puede ser **integral o separado** o **parcialmente separado del flujo o influencia de la combustión principal**.

En el caso que **el sobrecalentador sea separado o parcialmente separado, la temperatura se podrá regular por el operador teniendo en cuenta la combustión, en la zona del sobrecalentador hay un quemador dispuesto para ello o hay baffles que dirigen los pasajes de gases.**

Cuando el **sobrecalentador es integral**, la variación es la posición relativa a la combustión de la caldera (es decir, que según su posición será un sobrecalentador influenciado por la exposición directa a la combustión, "**radiante**", es decir expuesto a la radiación de la llama principal. o solamente influido por el pasaje de los gases que tendrá un pantalla de tubos de la caldera que lo protege de la radiación de la combustión, en este caso "**convectivos**", ya que están protegidos del calor radiante de la llama. Puede haber una sobrecalentador que tenga una **característica mixta**, es decir, que sin ser totalmente radiante, tenga algo de exposición a la radiación de la llama). **El exceso de aire y la alimentación con agua fría** tienden a aumentar la temperatura de sobrecalentamiento, etc. todo lo que baje la eficiencia de la caldera. **En el sobrecalentador integral, la temperatura del vapor se podrá regular por medio de inyección de agua** (desmineralizada o condensado puro, jamás usar agua que contengan elementos que no sea agua pura) **o por un by-pass a un enfriador de tubos en el interior de un domo de agua de la propia caldera.**

**<u>¿Cuales son los problemas más importantes de los sobrecalentadores?</u>**

Creo que debemos de comentar no menos de tres, especialmente en los sobrecalentadores integrales:

**El primero es la puesta en marcha de una caldera con sobrecalentador sin "quemar el sobrecalentador" o sea, pasar de temperatura al metal**. Si bien los sobrecalentadores hasta temperatura no muy altas (aprox. unos 400ºC) son del mismo material de la caldera, cuando se trabajan a temperaturas mayores son de materiales más refractarios (hierro con elementos como el cromo, níquel, molidebno etc. que soportan más la alta temperatura), **todos tienen el problema de la puesta en marcha, ya que en esta etapa los gases de caldera** (que tienen una gran temperatura) **y como no está circulando el vapor en el interior del sobrecalentador** (de manera que los tubos están sometidos a la temperatura de los gases o la llama radiante), **y además en esta etapa de arranque el vapor tiene baja densidad** (Kg/m3, o sea que si bien puede haber un flujo de volumen, en esta etapa el flujo de masa o peso no es muy alto y la temperatura del vapor se puede "disparar" por falta de masa de enfriamiento). Debemos decir que estos sobrecalentadores también se pueden dividir en **sobrecalentadores inundables** (se pueden llenar de agua para la puesta en marcha) o **sobrecalentadores no inundables** (no se pueden inundar para la puesta en marcha, lo que los hace más vulnerables a "quemarse" en esta etapa)**.**

**Lo ideal sería arrancar la caldera con una circulación de vapor auxiliar de otra caldera, de manera de no dejar en seco la etapa de calentamiento de la caldera. De**

**todas maneras el "arranque" o calentamiento debe ser muy lento, tirando vapor a la atmosfera, para mantener una circulación de vapor de enfriamiento, sea de vapor auxiliar o del vapor formado en la propia caldera, con una vigilancia muy estrecha de la temperatura del sobrecalentado.** Luego se irá transfiriendo el vapor al consumo y cerrando en forma coordinada la válvula de vapor a la atmosfera.

Si el sobrecalentador es inundable y no hay vapor auxiliar, conviene inundar el sobrecalentador con agua desmineralizada o condensado puro (nunca agua de caldera, ya que al evaporar las sales, dejará incrustado con sales secas las paredes del sobrecalentador en cada puesta en marcha). Pero si el sobrecalentador no es inundable, se deberá tener mayor precaución para la puesta en marcha (muy suave), **siempre tirando vapor a la atmósfera.**

**JAMAS SE TENDRÁ EL SOBRECALENTADOR SIN CIRCULACIÓN DE VAPOR CON LA CALDERA PRENDIDA O CON GASES CON ALTA TEMPERATURA** (al apagarse una caldera con mucho refractario).

Tal es así lo dicho anteriormente, que las válvulas de seguridad de la caldera estarán reguladas de tal manera que **la válvula que dispare primero será la del sobrecalentador** (y tendrá por lo general una capacidad importante de desalojo de vapor para evitar el sobrecalentamiento del mismo) **y cerrará por último**. Esto también es válido al apagar la caldera, nunca cerrar el vapor del sobrecalentador antes de apagar los fuegos, dejando inclusive una pérdida a la atmosfera durante unos minutos después de apagar los fuegos, para controlar la temperatura del metal del sobrecalentador.

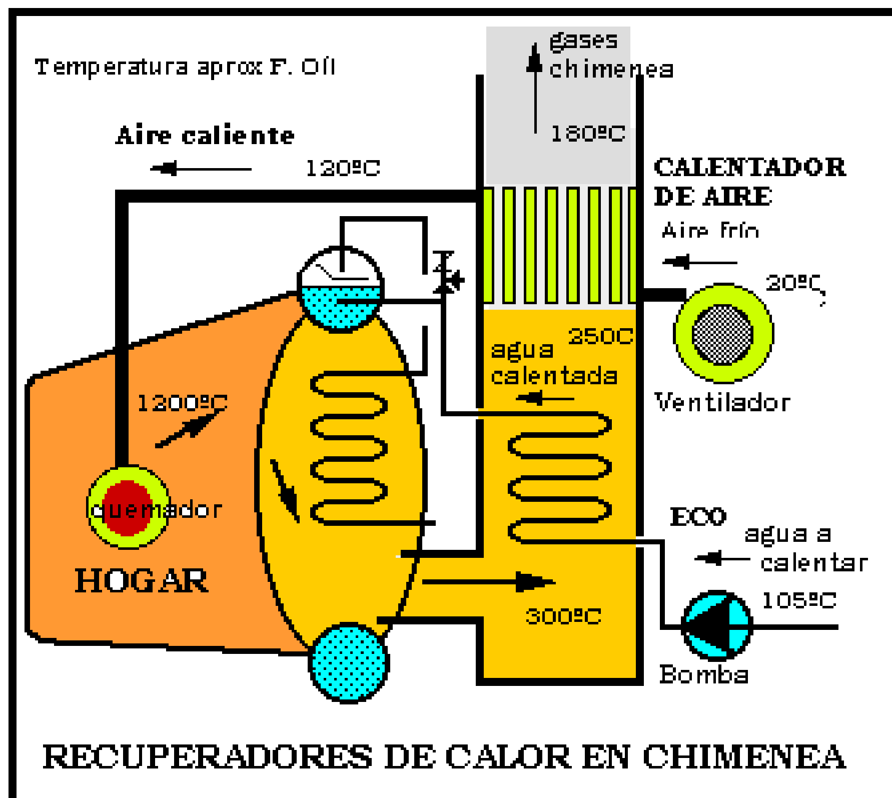
**El segundo punto del sobrecalentador será : no dejar bajo ninguna circunstancia que en la caldera haya arrastres de agua.** Los arrastres de agua de caldera, llevan sales que se depositan en el sobrecalentador (y también afectan a las turbinas), aislando al metal del lado del enfriamiento que provoca el pasaje de vapor que se está sobrecalentando, lo cual determina que el metal sube su temperatura por encima de la que es capaz de soportar y el sobrecalentador se "quema". Los arrastres son por lo general debidos a : excesos de consumos momentáneos, al PH, exceso de soda libre, presencia de contaminantes tensoactivos, alto T.S.D. o sales insolubles, etc. **Un caso que puede producir arrastres de agua de caldera es cuando hay una "caída" de presión de la caldera** (un consumo excesivo momentáneo, un problema de combustión, etc.) **ya que al bajar la presión el vapor aumenta su volumen específico dramáticamente** (disminuye su densidad o peso específico) **o sea la misma cantidad en peso de vapor** (su consumo en kilos/hora) **aumenta su consumo en volumen** (ejemplo: el vapor a 40 Kg/cm2 saturado ocupa 0,049 m3/kg y si la presión cae a 30 Kg/cm2 su volumen aumenta a 0,066 m3/kg, o sea que el volumen aumenta un 34%) **este aumento de volumen produce dos condiciones desfavorables que producen el arrastre, aumenta el nivel de la caldera** (se descomprime el vapor en el seno del agua donde se forma o sea aumenta el volumen de burbujas como una bebida gaseosa cuando se destapa) **y segundo aumenta la velocidad del vapor en la superficie de separación entre el agua y el vapor** (lo que dificulta la separación y favorece el arrastre). **Estos arrastres de agua de caldera no solo tienden a incrustar el sobrecalentador, sino que afectan a las turbinas** (el impacto de las "gotas de agua" sobre los álabes de la turbina provoca erosión e incrustaciones que van desbalanceando la turbina, provoca vibraciones y disminuye el rendimiento de la turbina al afectar los pasajes de toberas y alterar las superficies de los álabes ("paletas" de impulsión de la turbina). **Frente a una bajada de presión importante parar la turbina.**

**El tercer punto del sobrecalentador es su conservación cuando la caldera está fuera de servicio.** Debe ser conservado en iguales condiciones que el resto de la caldera: inundado con agua tratada para evitar la corrosión por oxígeno, un PH no menor de 10,5 y adsorber las dilataciones del agua por variación de temperatura ambiente con un sellado hidráulico para evitar la entrada de aire (oxígeno).

**Por supuesto, que hay otros problemas a considerar en el sobrecalentador :** la corrosión del lado gases por alta temperatura (el efecto del vanadio en el F.Oíl, la erosión de las cenizas en la quema de carbones o celulósicos, el ataque de algunas sales, especialmente las de potasio en biomasa, etc.) y la corrosión por baja temperatura cuando la caldera está fuera de servicio, generalmente provocada por el azufre y la humedad ambiente (esto se corrige con calefactores indirectos). También se debe considerar el problema de las limpiezas químicas, que cuando los sobrecalentadores son especiales, no deben usarse ácidos que puedan afectar a dichos metales (como ser el ácido clorhídrico, uno de los más importantes en limpiezas químicas, especialmente por su efectividad y costo, daña los sobrecalentadores de alta temperatura que tienen cromo y níquel como aleación).

## 16-RECUPERADORES DE CALOR EN CHIMENEA : EL CALENTADOR DE AIRE Y EL ECONOMIZADOR

La recuperación de calor en los gases de chimenea, **se hace para mejorar el aprovechamiento del calor que de otra manera se perdería** . Por lo general los gases al salir del último pase de la caldera, cualquiera sea el combustible, **su temperatura está por encima del vapor saturado de la caldera, unos 50ºC a 100ºC** . Dado que la caldera tiene un límite de intercambio de calor (que no solo depende de la superficie de transferencia, sino del salto térmico disponible, o sea la temperatura diferencia entre los gases de combustión y la temperatura de saturación de la presión de trabajo de la caldera). **Esto significa que llegado a un límite, la caldera no se puede o no es "negocio" aumentar su superficie de transferencia y entonces se debe recurrir a los recuperadores de calor, que utilizan fluidos que están a más baja temperatura que el agua del interior de la caldera.** Estos fluidos de baja temperatura pueden ser : **el calentamiento del agua relativamente más fría de alimentación** (el economizador o "ECO") o el **calentamiento del aire que se utilizará en la combustión** (el calentador de aire, mejora las condiciones de la combustión, especialmente en leña cuando se quema en rolos) . Aunque podrían ser calentados otros fluidos para otros usos diferentes, siempre que el salto térmico lo permita. **La recuperación del calor en la chimenea de una caldera, mejora el rendimiento o Eficiencia en un valor que lo hace muy interesante, que puede variar de acuerdo a las condiciones locales, tipo de caldera y al tipo de combustible** (estas recuperación puede ser, por lo general, desde un 3% a un 10%).




**En el caso del economizador** (**ECO**), hay dos problemas a enfrentar : **la corrosión e incrustación interna** (el agua debe ser tratada químicamente) y el problema de la corrosión exterior o de la zona de gases **. Con el azufre del combustible, forma SO2 y SO3, que luego formará ácido con la humedad del agua que se forma en la propia combustión** (el oxígeno al unirse al hidrógeno, formará H2O o sea agua). Este tipo de corrosión se producirá tanto en el ECO, como en el calentador de aire, si la temperatura de los gases bajan a la **temperatura de rocío** (es la temperatura en la que hay que bajar los gases para que forme gotitas de agua, esta temperatura será más elevada en la medida que aumente la cantidad de azufre del combustible y la cantidad de agua que lleven los gases, y la cantidad de gases "sin quemar", por lo general ácidos "piroleñosos"-acético, fórmico, etc.-). Para evitar la corrosión por azufre tanto el ECO como en el calentador de aire, se tendrá que precalentar el agua o el aire, para evitar que haya zonas en que la temperatura del metal del lado gases, llegue o baje a la temperatura de rocío (por ejemplo: en general cuando se trabaja con F. Oíl pesado que contiene bastante azufre, la temperatura mínima en los gases debe ser no menos de 180ºC).

Este problema del **azufre continua atacando al material de hierro en las paradas**, debido a que queda ácido en las cenizas, refractarios o depósitos que pueden quedar en la zonas de los ECOS y los calentadores de aire (en las paradas largas, es conveniente lavar con agua caliente alcalinizada levemente con soda, ambos intercambiadores y luego secarlos con calor indirecto, manteniendo durante la parada una atmósfera seca, con calor u otro medio, pero nunca dejarlos húmedos al lavar. Además conviene cortar la circulación de aire exterior, tapando la chimenea, para evitar la entrada de aires húmedos).

Todo este problema de corrosión, ha llevado a la creación de ECOS y calentadores de aire de materiales más difíciles de corroer (en los calentadores de aire se ha usado hasta

vidrio). Estos materiales nobles, dan buen resultado, pero de todas maneras requieren una limpieza del lado de los gases, ya que algunos combustibles (salvo el gas natural y otros gases, siempre que quemen bien, sin formar hollín) el hollín o la ceniza, **se deposita en estas zonas relativamente más frías, provocando un mal intercambio y una dificultad al pasaje de los gases** (en los ECOS, este problema se agrava, especialmente cuando son aleteados del lado de los gases, para lograr más superficie de intercambio, ya que del lado de los gases el coeficiente de transmisión es menor que del lado agua).

Una manera de limpiar estos intercambiadores, en algunos casos, puede ser la utilización de agua caliente (crea un problema de fluentes ácidos en F. Oíl), en un momento de parada momentáneo, de lo contrario en otros casos podrán implementarse **sopladores de hollín con vapor o aire comprimido** (crea una contaminación momentánea a la salida de los gases).

Con algunos combustibles de combustión "limpia", sin azufre u otros (como hollín, cenizas, etc), **como el caso de algunos gases** (con buena combustión, sin hollín y sin gases sin quemar)**, se puede utilizar hasta el calor latente del agua que va como vapor en la corriente de los gases** (para ello se "lavan" los gases y se intercambia esta agua que a acumulado el calor latente y sensible). En la industria, el problema es buscar fuentes de utilización de la energía a baja temperatura (como calentar agua para uso industrial, calefacción u otros), cosa que no siempre se encuentra, ya que hay otras pérdidas a mayor temperatura (como los condensados de vapor, su "flash" , que sobran y no tienen aplicación dado que las temperaturas de proceso son en algunos casos más altas).

El otro problema a contemplar, es que **si se enfrían los gases de chimenea en demasía**, los mismos **no se elevan por sí mismos**, lo cual trae como problema, la contaminación del medio ambiente próximo a la zona de descarga de las chimeneas.

**En los ECOS, la circulación del agua debe ser continua y en forma ascendente** (para evitar formación de "bolsas de vapor"), dado que si la alimentación en ON-OFF (discontinua), el agua estancada en el ECO se vaporiza, lo cual crea problemas de corrosión, depósitos de sales, exceso de temperatura del metal con oxidación (quemado lento y hasta un quemado "rápido", siendo este último retroalimentado entre el vapor de agua formado y el metal del ECO, este último puede desarrollar tanto calor, que funde el ECO y no se debe apagar con agua, tal es así que hasta barcos se han hundido al fundirse la caldera y su material de contención, perforando el casco).

## 17-PREPARACION DEL AGUA DE CALDERA

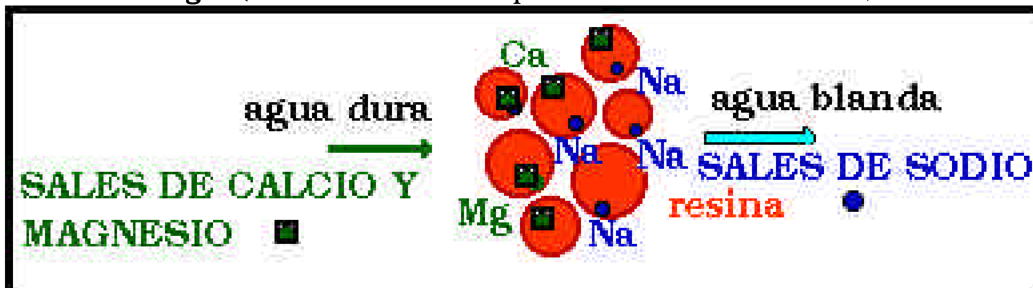
La preparación del agua de caldera, una vez que se ha hecho la "clarificación", "filtración", etc. (en el agua de pozos, esto por lo general no es necesario hacerlo, salvo el desarenado; en agua de OSE o suministro comprado, tampoco, pero si el agua es de superficie y se toma en condiciones naturales, debe hacerse un tratamiento que haga el agua lo suficientemente "limpia" para uso industrial, no necesariamente potable). **Pero, esta agua, según sean sus valores químicos** : T.S.D, Dureza Total, sílice, etc.; **según sea el tipo de caldera, presión, calidad del vapor, etc., se deberá hacer un tratamiento para que sea apta para el uso que le daremos, esto significa :** sacar las sales que provocan la dureza (calcio, magnesio, hierro), que pueden ser intercambiadas por otras que no producen incrustaciones (como el ablandador de agua), o pueden ser eliminadas totalmente (como en el caso de la destilación, la precipitación, desmineralización por intercambio iónico, el ósmosis inverso, etc.). Eliminar también los gases (como el oxígeno, el CO2, etc.), por medio de desareadores, etc.. Veamos estos temas a continuación:

### EL ABLANDADOR DE AGUA:

El uso de los intercambiadores iónicos (ablandadores o suavizadores) en ciclo sódico es muy común: se evita la formación de barros en el interior de la caldera y baja la cantidad de los productos anti-incrustantes a usar (fosfatos, etc.), con el inconveniente que **no se disminuye el total de sales disueltas**.

El material del intercambio del ablandador son pequeñas esferitas (un diámetro

máximo a 1,2 mm aprox.) de un material artificial orgánico (antiguamente eran arenas naturales, llamadas "zeolitas", que existían en algunos lugares muy exclusivos), que tienen la propiedad de intercambiar **iones de sodio por iones de calcio y magnesio, ablandando el agua** (también otros iones pueden ser intercambiados, como el hierro).




La altura del "lecho" de resina debe de tener un **mínimo de 600 mm** , de manera de evitar que se formen "caminos" por donde pasa el agua dura y permite que el ablandador "pierda" dureza, (su capacidad de intercambio tiene un límite, **se estima unos 55 gramos de capacidad como CO3Ca por litro de resina**, lo que significa que un agua de una dureza total de 100 ppm como CO3Ca, 1 metro cúbico agotará en el intercambio a 100/55=1,8 L de resina, si se quiere ablandar por hora 10 m3. de dicha agua, este caudal necesita mínimo 10x1000/24=416L de resina en el lecho del ablandador y por hora agotará 1,8x10=18 L de resina, lo que significa que habrá que regenerar el ablandador cada 416/18= 23 horas, **pero el ablandador, respectando el volumen de resina para el caudal máximo, los tiempos de regeneración se pueden buscar haciendo que el volumen de resina sea el conveniente a los tiempos de regeneración: una vez por día, cada 2 a 1 vez por semana**), que una vez "saturada" de los iones de calcio y magnesio, deben ser regeneradas con cloruro de sodio (sal común). **La capacidad horaria es muy importante, ya que un lecho normal soporta en promedio unos 24 litros/hora por cada litro de resina**). Para regenerar, al pasar la sal disuelta en una determinada concentración (aprox. 10%), los iones de sodio desplazan a los de calcio y magnesio y sale el cloruro de sodio transformado en cloruro de calcio y cloruro de magnesio por el desagüe. Por esto es importante al regenerar el ablandador tener una determinada concentración de "salmuera" y pasarla en un determinado tiempo, para obligar a un intercambio lo más completo posible, desde luego que después hay que desplazar esta salmuera sobrante para evitar que fluya hacia la caldera (es muy corrosiva).

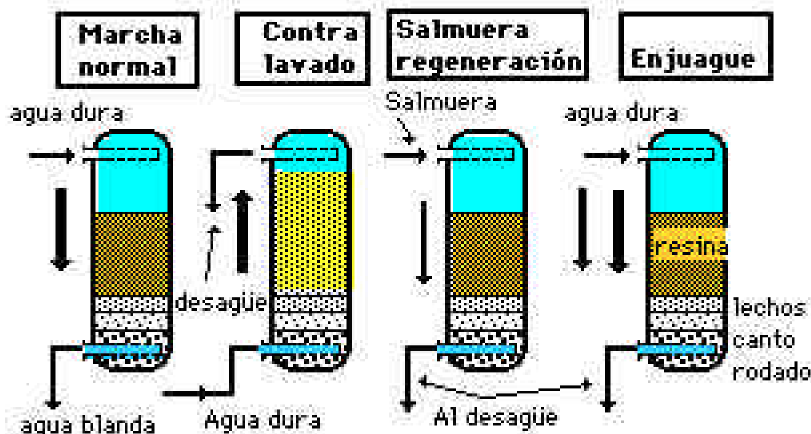
O sea, el ablandador de agua no "saca las sales de dureza", sino que intercambia la parte de la sal que la hace incrustante y le "pone" un elemento o ion de sodio que no es incrustante, pero esto también tiene sus inconvenientes, ya que aumenta la posibilidad de corrosiones y el aumento de la "soda libre" y el PH (que provocan espuma, arrastres, corrosiones, si no se limitan a un máximo, generalmente con la purga continua y con un tratamiento químico interno capas de reaccionar con parte de dicho sodio). Las aguas de pozo generalmente son las más problemáticas.

Uno de los problemas que se presenta al ablandar agua de pozos que contienen un elevado contenido de cloruro de sodio, es la propia auto-regeneración que produce la propia agua a ablandar, es decir, se hace difícil el ablandado total, se producen pérdidas de dureza debido a esta auto-regeneración (en estas aguas, es conveniente regenerar el ablandador con un % más alto de sal relación al de las aguas superficiales, como ser, 0,200 Kg de sal por litro de resina, en vez de 0,150 Kg/L).

**Veamos como operar un intercambiador en ciclo sódico:**

Hay cuatro estados en que se puede encontrar la maniobra del ablandador y tres operaciones fundamentales para efectuar su regeneración: **Marcha normal**

**1- Contralavado, 2- pasaje de la salmuera , 3- enjuague ( lento y rápido).**




**Marcha normal:** el agua pasa normalmente de arriba hacia abajo atravesando la resina, de manera que los iones de calcio y magnesio intercambian con los iones de sodio que se encuentran en la resina. Hay una cantidad máxima de flujo de agua que puede intercambiar, si nos pasamos de ese valor: escapará dureza (calcio y magnesio). Una vez que el equipo esta "agotado", es decir que el agua empieza a dar con dureza, se debe proceder a su regeneración:1-Contralavado,2-Salmuera y 3- Enjuague.

Antiguamente se controlaba el agua del ablandador para ver si el agua estaba blanda o dura, con la capacidad de reaccionar con un jabón especial, el cual si el agua dura estaba presente no formaba espumas de jabón (saponificaba) o si estaba blanda inmediatamente formaba espuma en su superficie (si había que medir la dureza, esta estaba en proporción a la cantidad de jabón a utilizar para formar espuma). Estos jabones "calibrados" eran especialmente fabricados para tal fin.

Hoy en día se utilizan métodos más prácticos, como ser el indicador a base de Negro de Eriocromo T (una sustancia que se utiliza para teñidos industriales) y con un "baffer" (un elemento regulador del PH próximo a 10 para que el indicador funcione), de tal manera que si el agua está blanda produce con este indicador un color **azul transparente** y si el agua está dura, produce un color "**borra de vino**". En este caso si se desea medir la dureza se utiliza una sal "secuestrante de dureza", que se introduce en una muestra con el indicador hasta que la misma deje al agua ablandada, el color vira de "borra de vino" a "azul transparente", lo gastado de secuestrante (por lo general EDTA) de acuerdo a su concentración y a la cantidad de muestra, se multiplica por un factor para calcular la dureza total de la muestra.

El indicador de dureza para ablandores se fabrica a base de "Negro de Eriocromo T) un producto que se usa mucho para teñir , con buffer (si es usado en polvo, generalmente Cloruro de Amonio), a lo que hay que poner en el agua a analizar unas gotas de amoníaco para elevar su PH a PH10. Pero como indicador de ablandadores los mejor es usar "Negro de Eriocromo T" disuelto en Trietalonamina (con algo de buffer como el cloruro de amonio).

Se debe usar la cantidad mínima de indicador en cada caso, para evitar que haya error en el "cero" dureza, ya que el "viraje" de color de estos indicadores consume una parte de la dureza (y necesitan la presencia de Magnesio para reaccionar, o sea en aguas que no contienen Magnesio, muy raras, se le debe adicionar al ETDA cuando se prepara, un poco de cloruro de magnesio para provocar la reacción del indicador). Ver más adelante la preparación del EDTA.

**1-Contralavado:** Se invierte el sentido pasaje del agua (de abajo hacia arriba) a un caudal suficiente para extraer los barros depositados sobre la resina que ha actuado como filtro, tirando esta agua al desagüe, utilizando un caudal que puede extraer estos barros sin perder la resina. Entre 10 a 20 minutos es suficiente (hasta que el agua esté clara). Estos barros hay que sacarlos, de lo contrario permiten la formación de "caminos" o

"cortocircuitos" que permiten el pasaje de agua dura (pérdida de dureza). También son "caldo de cultivo" para el desarrollo de microorganismos que "apelmazan" a la resina no permitiendo su funcionamiento .

**2-Salmuera o regeneración:** Preparar la salmuera (al 10% de sal limpia y comestible sin yodar, sin flúor, sin hierro para colorear, etc.) con una cantidad que dependerá del tamaño del ablandador y de la calidad del agua a tratar. La salmuera se pasa "lentamente" (30 a 50 minutos) normalmente de arriba hacia abajo, tirando el efluente al desagüe. Ver que el ablandador no entre aire, si este entra debe ser extraído antes de continuar con el enjagüe de la salmuera. No es conveniente dejar la salmuera sin circular en el interior del ablandador, no beneficia la regeneración de la resina y cuesta enjuagar. (La regeneración se produce por el desplazamiento de la sal que intercambió por la sal nueva que la desplaza). Para un cálculo de la cantidad de sal: 0,150 Kg. por litro de resina que tenga el ablandador y hasta 0,200 Kg./Ltr. en el caso de aguas muy duras.

**3-Enjuague:** El enjagüe es para extraer totalmente la salmuera que ha quedado en el equipo. Primero se hace un enjuague lento (un poco más fuerte de lo que se pasó la salmuera) durante unos 40 a 50 minutos, luego se hace un enjuague rápido de 10 a 15 minutos con un caudal casi próximo al contralavado (arriba hacia abajo en estos dos casos). Ir probando la dureza con un indicador de dureza y mantener el enjuague hasta que esta dé blanda.

Las resinas de los intercambiadores se pueden **contaminar** por distintos elementos orgánicos o inorgánicos: no debe dejarse que se queden barros en el interior (es conveniente ayudar con un poco de aire el contralavado cuando el agua para hacerlo no alcanza), los ablandadores expuestos a estos deben de tener un pre-filtro o deben ser "desinfectados" periódicamente. El agua a ablandar **no debe tener cantidades importantes de Hipoclorito de sodio** ( no más de 1 ppm como cloro total) porque la resina tiende a degradarse. Las resinas duran muchos años, dependiendo de las contaminaciones y veces que se regenera. La pérdida más grande es cuando se contralavan y algunos equipos no tienen un sistema para evitar la pérdida en el contralavado. En los períodos largos que el ablandador no se use: dejarlo regenerado e inundado de agua. Operan mejor cuando la circulación de agua es "modulante", es decir, como en el caso del flotador (no es conveniente el uso de electroválvula o sea un sistema "On-Off").

La dureza es conveniente controlarla cada turno.

Hoy en día el método más rápido de verificación es con los indicadores a base de 'Negro de Eriocromo T", que con el agua blanda dan una coloración " azul transparente" y con el agua dura una coloración "borra de vino". Para sacar la muestra haga funcionar fuerte el ablandador unos minutos, de lo contrario se corre el riesgo de que al no circular el agua dé blanda con el equipo "agotado" (engañando al operador).

**Los ablandadores para calderas, deben ser "generosos" a efectos de evitar frecuentes regeneraciones** (que por lo general generan la "pérdida" de agua dura), **y en lo que me es personal, creo que es más adecuado que la maniobra no sea automática** (los ablandadores automáticos no dan seguridad en su efectiva maniobra y pueden haber errores tan riesgosos como introducir el "enjuague" o la "salmuera" a la caldera, casos que han ocurrido provocando accidentes). **Los ablandadores automáticos por lo general se regeneran por "tiempos" o por el volumen de agua**

**que ha pasado ( m3), ambos pueden ser erráticos, ya que el consumo de una caldera no solo está supeditado a la producción de vapor, sino a que pueden haber "faltas" de condensado o en el caso de los m3. la dureza variar por alguna razón** (como el efecto de las lluvias en aguas superficiales, la mezcla de agua de distintos pozos, o que la regeneración no ha sido completada por alguna razón). **Si se ha de preferir el uso de ablandadores automáticos, es conveniente que los mismos sean "vigilados" por un medidor de Dureza Total, que provoque el ciclo de regeneración o el by-pass del agua dura y la alarma correspondiente para que el foguista pueda tomar acción.** Dados todos estos inconvenientes, prefiero los ablandadores manuales para las calderas.

De todas maneras, un problema de los ablandadores de agua, sean automáticos o manuales, es evitar los "golpes de ariete", que se provocan al disponer de válvulas de accionamiento rápido (como solenoides o válvulas neumáticas de gran dimensión y de acción rápida en vez de lenta), el cierra rápido (como de golpe) de la masa de agua de agua después de pasar el ablandador, provoca que toda la energía dinámica de esa agua se se acumule y se manifiesta como una aumento de presión, que en algunos casos eleva la presión varias veces la presión de entrada, provocando la rotura de los recipientes que contienen la resina (de las repetidas subidas de presión y descenso que termina "fatigando" el material y fisurando el mismo). Estos golpes de ariete hay que evitarlos, lo mejor es poner válvulas de control de los ablandadores en los tanques de agua blanda del tipo de "flotador" (que van abriendo despacio y cierran despacio siguiendo el nivel del agua) o de lo contrario poner válvulas neumáticas con comandos de retardo en cierres y aperturas y cierre fundamentalmente.

Hemos comprobado que un ablandador conectado a una presión de agua de 4 Kg/cm2, y cerramos su válvula de descarga al tanque de agua blanda en forma rápida (como en caso de solenoide común o piloteada) la presión llegaba en forma instantánea a 20 Kg/cm2, lo que provocaba con el tiempo la fisura del tanque del ablandador hecho en acero inoxidable de buen espesor. La puesta de una válvula de alivio no es suficiente, ya que hay un retardo en la acción instantánea de la válvula, conviene siempre disponer de válvulas de acción lenta en los tanques de agua blanda.



ABLANDADOR DE AGUA DE 1200 Ltrs. DE RESINA (diseño de CWT)

# DESMINERALIZACIÓN DEL AGUA

La desmineralización del agua, es extraer todas sus sales disueltas (en un agua que ya no tiene elementos en suspensión). Veamos la: **PRECIPITACIÓN QUÍMICA, LA DESTILACIÓN, LA DESMINERALIZACIÓN POR INTERCAMBIO, EL ÓSMOSIS INVERSO.**

**Para el control de la calidad del agua desmineralizada,** se utiliza la propiedad de la conducción eléctrica de los iones de las sales en el agua (las sales o sustancias inorgánicas y algunas sustancias orgánicas, se ionizan en mayor o menor grado. La sílice coloidal y algunos elementos orgánicos, que prácticamente no inciden en la transferencias de la corriente eléctrica en el agua, porque no se ionizan fácilmente). La conducción eléctrica permitida por las sales o algunas sustancias orgánicas en el agua (**el agua pura es prácticamente poco conductora** o sea que es casi aislante), al someter un voltaje entre dos electrodos, separados un cierta distancia, permite establecer una medida de la cantidad de sales en dicha solución (**que debe ser corregida por la temperatura de la muestra, ya que a mayor temperatura, mayor será corriente que pasa o sea, menor será su resistencia, esta temperatura estándar por lo general se refiere a 25ºC, se puede considerar que la conducción aumenta un 2,2% por cada 1ºC que aumente la temperatura**). Por lo que dicha medida se hace o **por la conductividad** (pasaje de corriente, que se mide en **Siemens por centímetro o en micro-Siemens por cm, o sea μS/cm <u>la más usada</u>** (micro= μ = 0,000.001 de S, dado los valores tan pequeños, siendo el Siemens la unidad de conducción equivalente a un circuito cuya resistencia es 1 Ohm cuando se aplica un voltaje de 1 voltio)**, o lo que es lo mismo** por la **resistencia inversa** (la resistencia se mide en **Ohm**, la inversa en **Mho**, una forma de expresar la conductividad) **, que se expresa en Mho/cm ó microMho/cm o sea μMho/cm.** (micro ó μ, significa la millonésima parte o sea 0,000.001 ó $10^{-6}$, dado lo pequeño que en el **agua casi pura** puede ser **la conductividad entre 2 placas de 1 cm2 a una distancia de 1 cm, cuando el voltaje es de 1 voltio**). Pero se ha tomado en lugar del Mho al Siemens (ambos son equivalentes) Otros valores referidos a la conductividad se pueden expresar en **miliSiemens** (mS, significa la milésima parte del Siemens, ya que 1 mS/cm=1.000 μS/cm ó **miliMho** : mMho) **O puede expresarse como resistividad o resistencia y se expresa por lo general como megaOhm. cm** (MΩ)**, la inversa de la conductividad** (**mega** Ω, es un millón de veces o sea por 1.000.000 ó $10^6$ o sino se puede expresar en **kiloOhm-K**Ω- igual a 1.000 veces el Ohm .

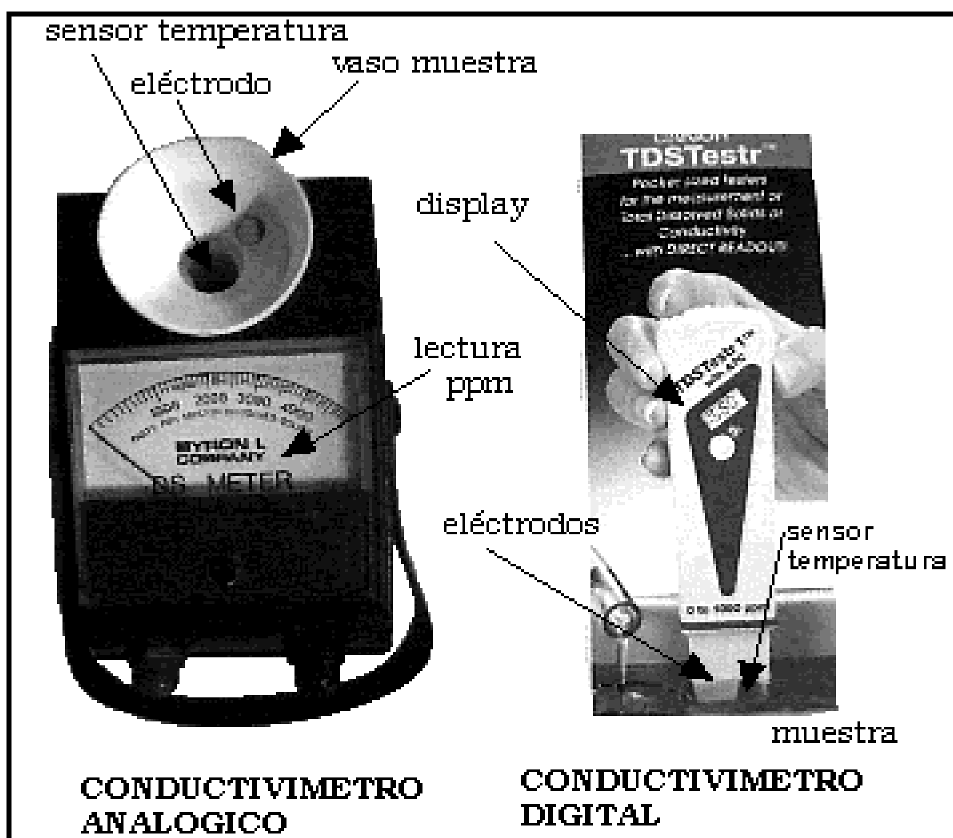
El agua más pura lograda, se estableció en **$4{,}2 \times 10^{-6}$ Siemens por metro a 20ºC** (o sea 0,042 μS/cm) o expresado en Ohmios, en 23,8 MΩ.cm. En la práctica estos valores son muy difíciles de lograr.

Las partes por millón (**ppm**) en que se expresan el contenido de sales, se refiere a una unidad de peso disuelta en un millón (1.000.000) de unidades totales de solución, que también se puede expresar en partes por mil (**ppt**, en inglés).

En general podemos decir que los valores aproximados de las distintas aguas serán (a 25ºC como se toma por norma general):

Súper pura ..........aprox. 0,055 μS/cm Destilada................aprox. 1 μS/cm
Pozos................................+ 500 μS/cm Agua mar...............aprox. **58 mS/cm**

**Las aguas superficiales son variables, en Uruguay, por lo general tienen entre 70μS/cm (aprox. 50 ppm de sales, en el Litoral,) hasta más 300 μS/cm (aprox. 200 ppm, en el río Santa Lucia, en épocas de secas). En los pozos, se nota un aumento en la salinidad, aproximándose a los departamentos del Este, próximos al océano, cuando los mismos son profundos.**

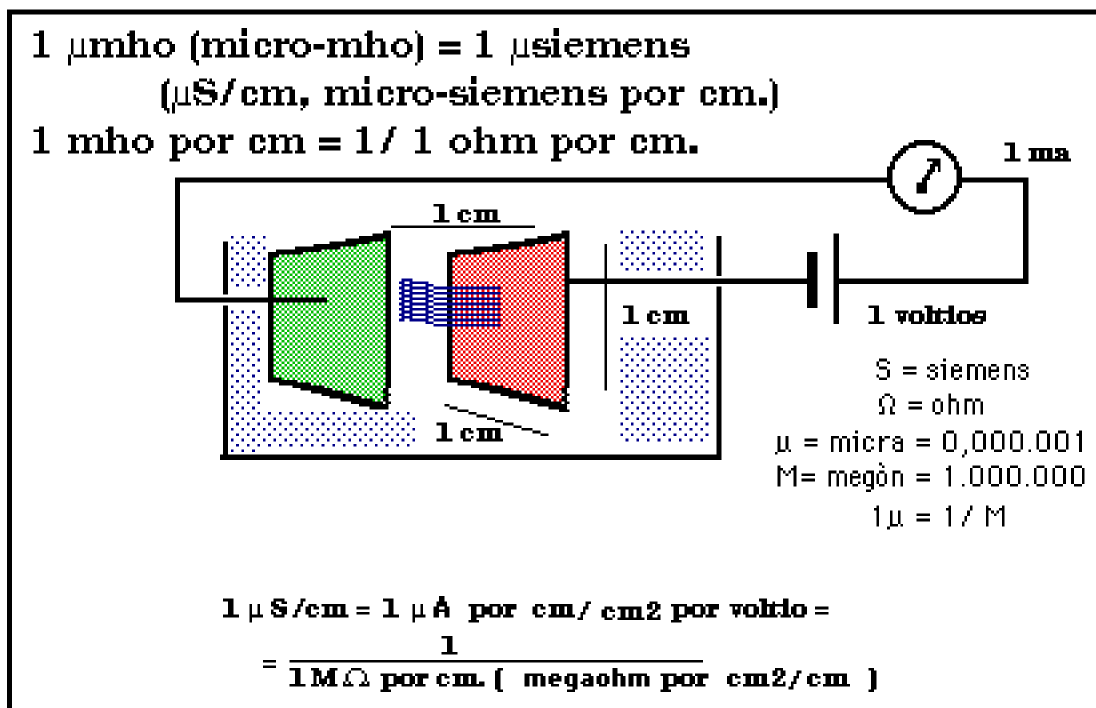



**Los instrumentos para este control, ya tienen la lectura por lo general automáticamente corregidas por la temperatura de la muestra, además trabajan con corriente alternas de altas frecuencias para que los electrodos de medición no se "polaricen"** (o sea que se cubran con un gas de la descomposición provocada por la corriente, no altere la lectura, ya que la corriente alterna despolariza en cada medio ciclo de alternancia). **Pero cuidado, recordar que la sílice y otros elementos orgánicos pueden estar presentes y el conductivímetro no los detectan.**

Los instrumentos pueden tener **lecturas analógicas** (instrumentos con agujas) o **digitales** (instrumentos con pantallas, como las calculadoras), **ambos deben ser calibrados cada tanto tiempo** (con una **solución de cloruro de sodio** especialmente preparada para esta función, en agua de calderas **la solución de calibración puede ser de 4.500 $\mu$S/cm equivalente a 3.000 ppm, no correspondiendo a 3 gm/L de solución, sino a un valor menor, 2,350 mg/L de cloruro de sodio), manteniendo sus electrodos limpios** (utilizando alcohol, preferentemente isopropílico, o a veces con una solución ácida diluida-por ejemplo:ácido clorhídrico 5-10%-haciendo un buen enjuague a los pocos minutos), **y luego calibrar con la solución, dando el tiempo suficiente para compensar la variación por temperatura** (hoy prácticamente todos los instrumentos tienen compensación automática por temperatura a 25ºC).

**Los conductivimetros para el control de estas aguas desmineralizadas** (instalados fijos), por lo general tienen una función automática, de manera de "abortar" (y alarma) si el agua tiene una conductividad por encima de lo regulado. **No perder de vista de analizar la sílice, ya que esta puede estar presente aún con lecturas bajas de conductividad**.

Los valores deseados, dependen del sistema de desmineralización, **podemos decir que por lo general por cada 1,5 μS/cm equivale a 1 ppm o sea 0,66 ppm por μS/cm** (en agua de caldera y naturales), **siendo menos 0,6 ppm por μS/cm** (en agua desmineralizadas o condensados). Veamos en forma visual las relaciones anteriores:



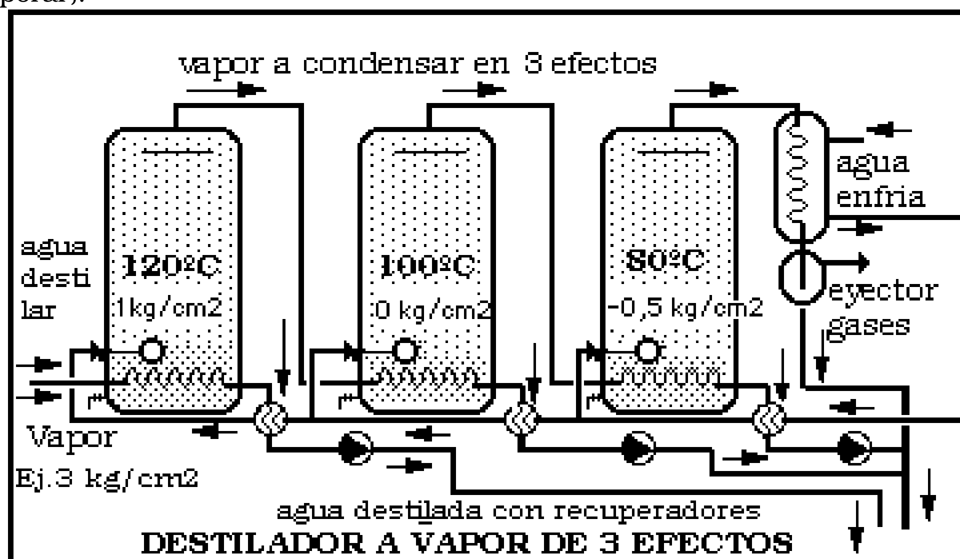

**Para el manejo del TSD** (Total de Sales Disueltas), **en el agua de caldera, cuando usamos un conductivímetro, en realidad, sino corregimos la muestra a un PH neutro, estaremos midiendo la conductividad** (cuanto más alto sea el **PH**, mayor será la conductividad, con la misma cantidad de sales totales disueltas, lo que cambia es el tipo de sales). **Para corregir la lectura a un PH neutro, se utiliza ácidos orgánicos que no se ionizan** (como el ácido gálico). **Pero en realidad, lo que más afecta al comportamiento de la caldera no son la cantidad de sales disueltas, sino el tipo de sales que actúan cambiando la tenso-actividad del agua y afectando con ello la circulación interna** (pudiendo provocar espumas, lo cual favorece el "arrastre", o hasta puede "cortar" la circulación interna, provocando con ello hasta falta de "enfriamiento" locales que pueden hacer hasta colapsar un hogar humo-tubular). **En realidad, cuando "no corregimos" el PH, el valor de conductividad es el que debemos "respectar", porque es el que más no afecta** (y fijando un "límite" en ppm como corresponde a una determinada "máxima" de conductividad, estamos protegiendo con ello el problema de circulación interna, es decir, medir sin corregir el PH o de lo contrario hablar en conductividad y no en ppm)**.** Hay una tendencia a confundirnos con este razonamiento, dado que antiguamente se medían los sólidos disueltos por "evaporación" (previo filtrado), o se medían por densímetro de "pesada" (con un salinómetro de "densidad" corregido por temperatura de la muestra), ambos sistemas no tienen en cuenta la conductividad del agua, **lo que podría estar en el entorno del valor deseable de TSD, pero en una zona de riesgo para la circulación interna de la caldera** (recordando siempre que este método de conductividad no mide la sílice presente, que por lo general no afecta la conductividad del agua, pero sí puede ser un límite peligrosamente traspasado, especialmente cuando se genera vapor sobrecalentado para las turbinas de vapor).

## PRECIPITACIÓN QUÍMICA

En un principio (junto con la destilación), se extraían las sales, **provocando con el agregado de productos químicos** (cal, soda, fosfatos, magnesio, etc.) **la precipitación de las sales disueltas, con una posterior filtración de los elementos que pudieran quedar en suspensión.** Esto implicaba, verdaderas plantas de dosificación, mezcla, a veces calefacción, precipitación, filtrado, etc. **El agua lograda tiene un menor contenido de sales, pero no lo suficiente para hablar de agua "pura" .** Es todavía un método válido cuando se utiliza en combinación con otros procesos de desmineralización, para lograr un agua "pura" (sin o casi sin sales), ya que en aguas con muchas sales o sales que puedan precipitar fácilmente, los otros procesos pueden no funcionar correctamente, Veamos los procesos que "afinan" la purificación del agua (destilación,desmineralización, ósmosis inverso).

## DESTILACIÓN

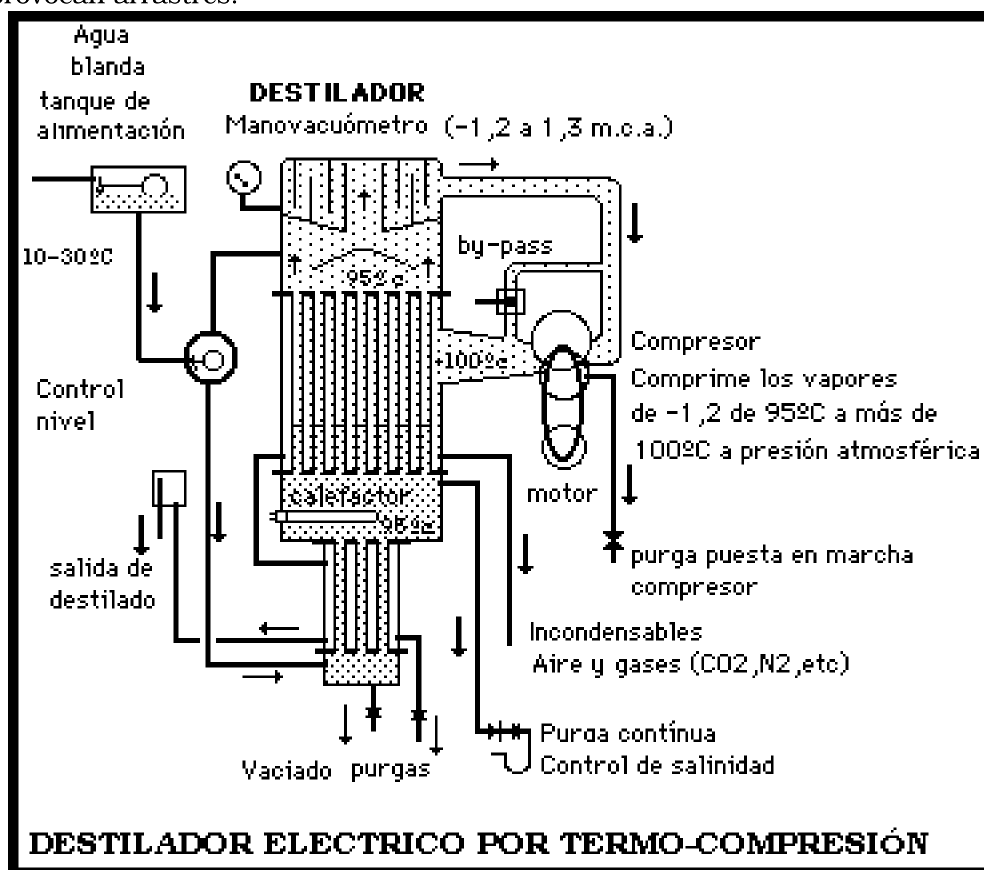
Antiguamente, la desmineralización casi real del agua se lograba por evaporación y condensación (**destiladoras**), repitiendo el proceso, se lograba una pureza del agua bastante aceptable. Esta operación de las destiladoras, **consume energía** (vapor, calentamiento directo, energía eléctrica, etc, que para mejorar su rendimiento se puede hacer en varias etapas, aprovechando el calor "latente" de cada etapa y los calores sensibles de las aguas "destiladas", pudiendo ser este destilador de múltiples destilaciones, en serie, o de simple, en paralelo). La utilización de los vapores de destilación en etapas posteriores, baja el consumo de energía, ya que se vuelve a repetir el proceso a un nivel más bajo de presión, siendo las etapas finales por debajo de la presión atmosférica (o también se utiliza la "termo-compresión" mecánica, comprimiendo el vapor de destilado, para aprovechar el "calor latente" del vapor, que se reutiliza para calentar el agua a evaporar).



DESTILADOR A VAPOR DE 3 EFECTOS

La pureza del agua se mide por su conductividad (aunque la Sílice-SiO2- no es detectada por no ser ionizable, esto puede ser un problema muy grave, dada que la sílice produce incrustaciones muy duras y aislantes y en calderas de media y alta presión que trabajan con turbinas puede incrustar los álabes de las turbinas (baja el rendimiento y produce desequilibrios que se traducen en vibraciones que pueden destruir la turbina). Uno de los problemas de las destiladoras es la incrustación que se produce en la misma

destiladora, otro es el manejo para evitar **los arrastres en el vapor de sales de la propia agua que se está destilando**. La pureza del agua lograda es bastante buena, repitiendo el proceso se logra una pureza casi tan buena como la desmineralización por intercambio. Una de la ventajas de la destilación, es que al hacerse con temperatura, hay una desinfección en el agua destilada, quedando por lo general un agua libre de "pirógenos" (microorganismos contaminantes), siempre que la destilación sea con una temperatura lo suficientemente alta (ya que se puede destilar también por debajo de los 100ºC o sea, por vacío-debajo de la presión atmosférica- buscando elevar los rendimientos térmicos). **Una de las razones de arrastres de las destiladoras puede ser**: exceso de sales por falta de purga continua del agua a destilar, contaminación del agua con elementos que provoquen espumas, las superficies incrustadas también favorecen los arrastres, el exceso de destilación horaria, el nivel de agua muy alto, problemas en los bafles separadores de gotas, destiladora trabajando a presiones distintas del diseño, etc.. Se pueden utilizar algunos productos químicos para evitar la incrustación de la destiladora, pero lo mejor, es ablandar el agua por intercambio iónico (ablandador de resina en ciclo sódico), cuidando la purga continua del destilador, por el exceso de alcalinidad, que puede formar espumas que provocan arrastres.



**DESTILADOR ELECTRICO POR TERMO-COMPRESIÓN**

**De la figura anterior, un destilador por "termo-compresión mecánica", veamos el funcionamiento básico:** El vapor producido en el intercambiador-evaporador que es calefaccionado por la termo-compresión (o en el comienzo por resistencias eléctrica) es descargado a una cámara de separación, en la cual a través de laberintos y filtros son dejadas las gotitas de agua y el vapor es absorbido por la succión del compresor a unos 93ºC-95ºC (-1,2 A -1,3 m.c.a.) y es comprimido por el compresor de manera que sube su

presión (0 m.c.a.) y por lo tanto su temperatura aumentan (+ 100ºC , se le agrega un trabajo mecánico del motor eléctrico que se transforma en temperatura y presión), la descarga de estos vapores más calientes chocan con los tubos del intercambiador-evaporador que contienen el agua con salinidad que debemos evaporar, condensándose el vapor del compresor y evaporándose el agua con salinidad. (El calor de vaporización es casi prácticamente igual calor de condensación, aprox. unas 600 Kcal/Kg.., la diferencia de temperaturas permite la transmisión de calor del condensado al agua salina, ya que hay una diferencia provocada por las condiciones diferentes de presión y temperatura en cada lado del proceso).

Este fenómeno permite que se pueda destilar en un ciclo casi cerrado utilizando muy poca energía, solamente compensando las pérdidas (con resistencia eléctricas).

El agua que se condensó desprende sus gases incondensables que salen a la atmósfera ($CO_2$, $O_2$, $N_2$, $NH_3$, etc), y el agua sigue por su gravedad hacia la intercambiador con agua fría de alimentación antes de salir .

## DESMINERALIZACIÓN POR INTERCAMBIO IÓNICO

La desmineralización por intercambio iónico consiste en utilizar "resinas" (igual o similares a las utilizadas en los ablandadores en el aspecto físico), que son pequeñas esferitas (la forma más común) **que tienen la propiedad de intercambiar iones** (las sales están formadas por un radical ácido y un radical alcalino, si son ionizables, cuando están disueltas en el agua, estas podrán estar formando iones de sus radicales, siendo unos positivos y otros negativos). Las resinas se pueden clasificar de acuerdo a su intercambio: **las que intercambian radicales ácidos** (resinas **catiónicas**, iguales a las de los ablandadores) o **radicales alcalinos** ( resinas **aniónicas**), de manera que una vez regeneradas, las ácidas (catiónicas) con **ácidos** (en cuyo seno estarán los radicales $H^+$, hidrógeno) y las que intercambian radicales alcalinos (aniónicas) con soda (NaOH) que tienen en su seno los radicales oxhidrilos ($OH^-$). Las resinas que intercambian el radical alcalino o catiónicas ($Ca^{++}$, $Mg^{++}$, $Na^+$,$K^+$, etc), dejan en el agua el radical ácido al entregar un **$H^+$,** luego será intercambiado el radical ácido por la **resina alcalina o aniónica por el $OH^-$.**

**En una palabra, las sales serán intercambiadas, formando $H_2O$** (la unión del $H^+$ y el $OH^-$) **o sea agua.**

Generalmente, el agua deberá ser pre-tratada, para eliminar todos los contaminantes orgánicos y en suspensión, su contenido de cloro a un nivel muy bajo (menos de 1 ppm), y por lo general se intercambia primero con la resina catiónica (se eliminan los radicales alcalinos que por lo general pueden precipitar entorpeciendo el intercambio), luego se intercambian los radicales ácidos en la resina aniónica.

Para lograr una alta pureza del agua, se deberá hacer varias repeticiones de este proceso o de los contrario, **se puede hacer un lecho mixto** (mezcla de resinas, catiónica y aniónicas, de manera que el intercambio se hace alternativamente dentro de la propia columna en repetidas oportunidades. El tema da para muchas alternativas. Pero hablemos de que problemas pueden ocurrir.

La **resina aniónica**, que intercambia los radicales ácidos (y también intercambia la Sílice o $SiO_2$ como radical levemente ácido), es **muy susceptible a sufrir "fouling"** (contaminación con elementos orgánicos que le quitan capacidad de intercambio a la resina). Cuando la resina aniónica tiene una contaminación, al perder intercambio, empiezan a pasar los radicales ácidos (el agua queda con un bajo PH), **esto es detectado por el conductivímetro** (elemento que controla la conductividad del agua que la producen los iones o cargas eléctricas, ya que el agua pura es prácticamente aislante, esto

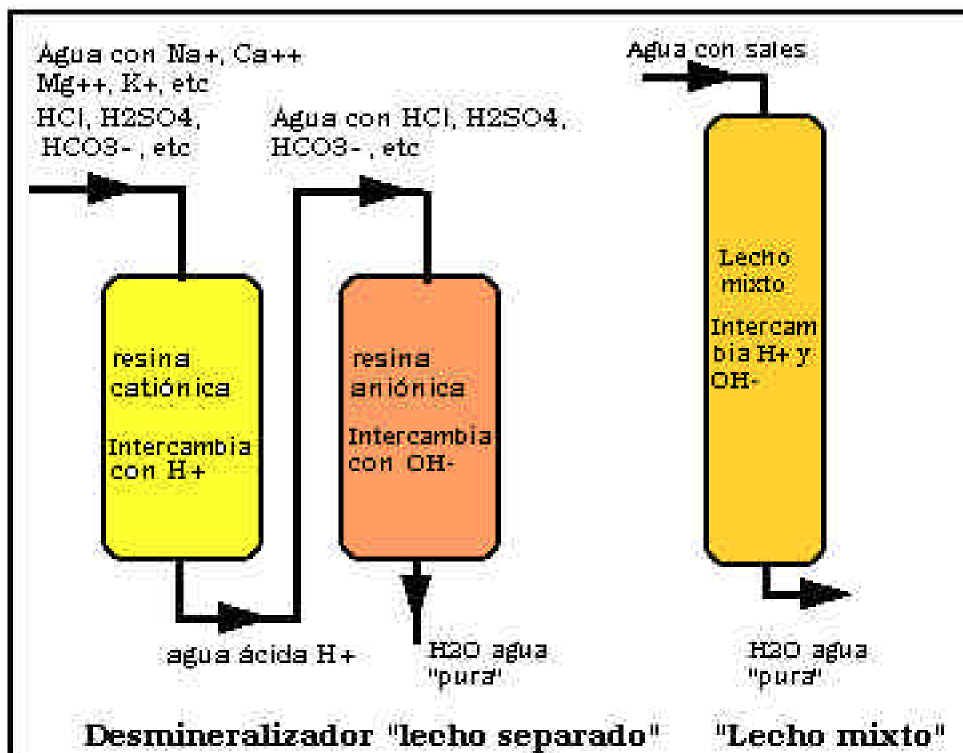
puede detectar el pasaje de sales o radicales en el agua tratada), **por lo que el control se establece y se regenera o desinfecta el equipo, al detectar conductividad. Pero el problema puede ser más grave si la Sílice-SiO2- es un problema para la planta, dado que el conductivímetro no detecta el paso de la Sílice, ya que esta no es casi ionizable** (no aumenta mayormente la conductividad del agua desmineralizada. Si realmente se quiere eliminar la Sílice, se debe regenerar la resina aniónica con la solución de soda con cierta temperatura - por lo general no más 50ºC-, que no afecte la estabilidad de la resina aniónica, que soporta menos la temperatura que la resina catiónica -que algunas soportan hasta 140ºC-, ya que si esto no se hace, la resina no queda correctamente regenerada para eliminar la Sílice).

Generalmente la resina aniónica tiene un volumen mayor en un 20% sobre la resina catiónica para un mismo intercambio, dado que tiene menor capacidad de intercambio que la catiónica. Aunque hay muchos tipos de resinas, por lo general la resina aniónica es de menor densidad que la resina catiónica, esto permite en los **lechos mixtos, separarla para la regeneración** (esto se hace con un flujo de agua, a contracorriente), volviéndose a mezclar luego de regeneradas y enjuagadas (se premezclan con aire en forma de burbujas, con la columna parcialmente llena de agua). **Las resinas aniónicas se regeneran con ácidos diluidos**, siendo el ácido clorhídrico uno de los mejores (por no haber precipitación, pero uno de sus problemas es que la columna si es de acero inoxidable es atacada por el ion cloruro), cuando se utiliza otros ácidos, como **el ácido sulfúrico, se debe diluir muy bien y en bajos %,** ya que precipita si se combina con algunas de los cationes en la regeneración si se encuentra en cierta concentración para ello (además se debe de manejar con mucho cuidado, es un ácido muy peligroso de manejar, tanto como el cometer el error de introducir agua en el ácido: se produce casi una explosión por el desarrollo de gran calor, como por el hecho de que si una parte del cuerpo humano es tocada por el ácido, sufre una inmediata ulceración que pone riesgo la integridad), Por lo general el ácido sulfúrico es más barato que el ácido clorhídrico, por esta razón es utilizado en algunas plantas (a pesar de los riesgos).

En el caso que el agua deba clorarse para su desinfección, antes de su desmineralización o ablandamiento, **es conveniente sacar el residual de cloro** al entrar al sistema de intercambio, para ello se instala un **filtro de carbón activado** (el carbón activado, es un carbón que pueden tener varias procedencias, pero todos en general están compuesto por carbono y tienen una gran porosidad, lo que hace que tengan una gran superficie para absorber elementos como el cloro u otros gases o materiales orgánicos, aunque hay carbones para otras funciones de absorción, tal como la eliminación de olores, sabores, colores, o sea elementos orgánicos que los producen, etc.). Estos carbones se cambian o se regeneran parcialmente con una corriente de vapor a contra-corriente y venteo a la atmósfera (aunque para lograr una recuperación mayor se deben tratar a altas temperaturas, casi calcinados).

Dentro de las distintas combinaciones con las resinas, para lograr un mejor intercambio, también se puede entre la resina catiónica y la aniónica, disponer de una **torre de eliminación del anhídrido carbónico- CO2** (producido cuando hay una gran alcalinidad en el agua a tratar, generalmente agua de los pozos, que está formada por radicales ácidos de anhídrido carbónico de los bicarbonatos).

Veamos algunos croquis de ejemplos simples.



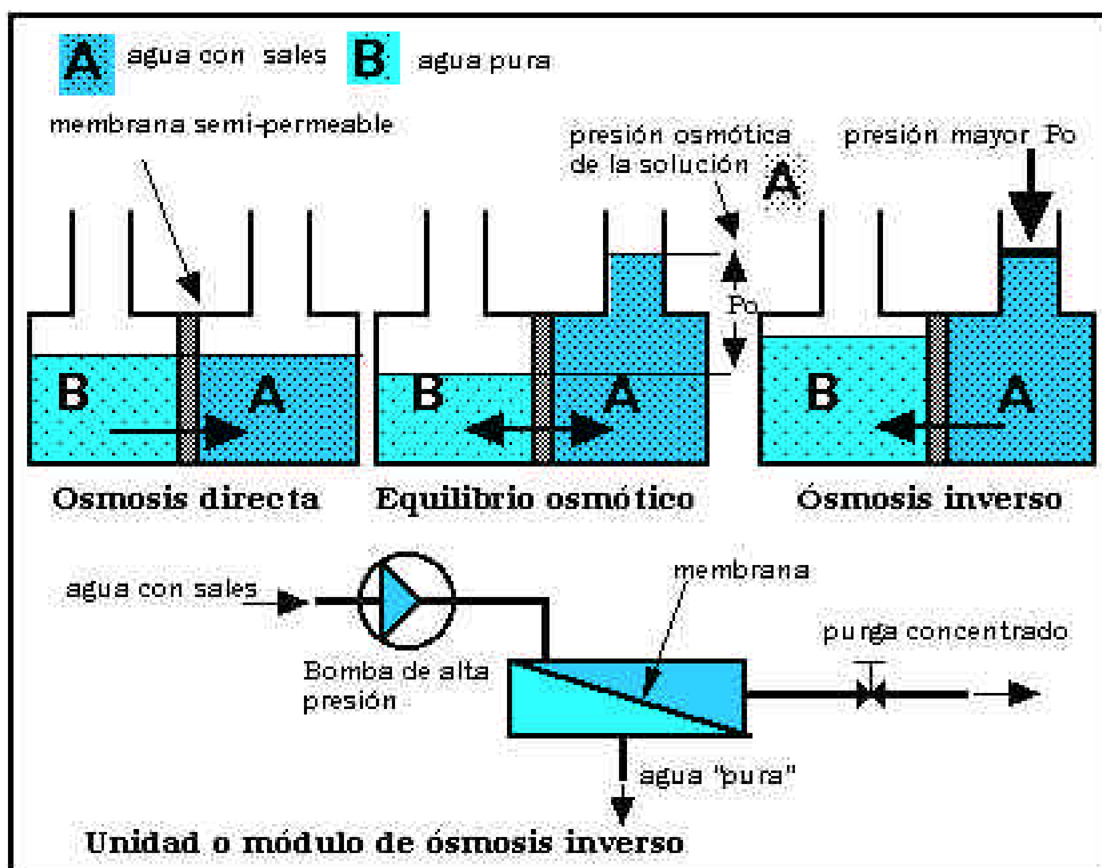

## ÓSMOSIS INVERSO

Para extraer las sales que contiene el agua (las sales solubles y aquellos elementos que no lo son totalmente, como los orgánicos), en la actualidad hay métodos que aprovechan el efecto que produce la **ósmosis**, **aplicando un efecto inverso,** de manera de obtener un agua casi pura o desmineralizada. El efecto que se llama **ósmosis**, es el que se produce cuando, en un recipiente que hemos divido en dos partes, **por medio de una membrana orgánica semipermeable,** y que en una sección se pone agua con sales y en la otra agua pura, ambas al mismo nivel. Veremos que el agua pura, tiende a pasar por la membrana semipermeable, haciendo que el lado del agua con sales, suba hasta cierta altura, esa diferencia de altura, **es la presión osmótica.**

Pero si hacemos que el lado que contiene las sales, tenga una mayor presión que la **presión (o altura) osmótica**, lograremos que pase agua pura de la solución con sales a la sección de agua pura. Si este efecto lo hacemos con membranas de gran superficie (de acetato de celulosa o de poliamidas, adecuadas para esta función, las primeras con gran capacidad de transferencia, pero muy sensibles) **podremos bombear agua con sales y sacar una parte de esa agua con menor cantidad de sales** (siempre habrá una purga permanente, para mantener un límite en la concentración de sales, dado que a más cantidad de sales, más presión se necesita y además aumenta la pérdida de sales que se introducen con el agua limpia. Si este efecto lo hacemos en varias etapas, lograremos que el agua "pura" sea en cada "efecto" o módulo de **ósmosis inversa** cada vez más pura). La presión de las bombas, generalmente es el orden de los 20 k/cm2 a 80 k/cm2.

Las **membranas**, tienen formas especiales (espirales, tubulares), hay que efectuar una limpieza periódica para mantenerlas en condiciones, siendo su duración de acuerdo al tipo de material y a las condiciones locales de cada sistema. En algunos casos hay que preparar el agua a tratar (PH, exceso de dureza, elementos en suspensión, desinfección, etc o la utilización de polímeros anti-incrustantes en dosificación contínua). Estos sistemas tienen un gran futuro, ya que podrán sustituir el intercambio iónico, que tiene mucha contaminación con la regeneración de las resinas (ácido, soda, etc.).

Estos sistemas han sido de gran utilidad, no solo en tareas industriales, sino en la potabilización del agua de mar, tanto en buques, como en algunas zonas desérticas.




La relación entre el caudal de agua depurada y el caudal de alimentación se denomina conversión (se expresa en %).

Los iones que más tienden a pasar, son los de menor peso atómico, por lo general la pérdidas de cloruro de sodio son las más comunes, teniendo que hacer más pases de ósmosis (membranas) para bajar estas pérdidas, lo que obliga cuando se necesita agua ultra-pura, a la utilización de lechos mixtos de resinas al final de la cadena de ósmosis, para lograr una pureza del agua lo suficientemente elevada como para ser usada en calderas de alta presión, así como otros usos (limpiezas de circuitos electrónicos, etc.).

## DESAREACION DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

El agua, cualquiera sea su procedencia, trae en su seno a **gases disueltos** (aún el agua desmineralizada, tanto en el intercambio iónico como el ósmosis inverso, los gases no son por lo general extraídos, salvo en las aguas destiladas que salgan a una temperatura próxima a los 100ºC casi no tienen gases), entre ellos el **oxígeno** (que en la atmósfera se encuentra en 21% en volumen, un elemento muy corrosivo para el sistema de caldera e instalación de vapor), que **debe de ser el mínimo posible**. Hay varias maneras de disminuirlo al mínimo. Una es el **secuestro con un producto químico** (por ejemplo el **sulfito de sodio,** la **hidracina**, esta última cancerígena, no debiera ser usada en cualquier planta, habiendo otras sustancias que se pueden usar, pero que no son de uso tan común como el **sulfito**), **el problema del secuestro con productos químicos es el costo de los mismos y en el caso del sulfito, el aumento de la cantidad de sales a purgar** (por eso debe de tratarse de eliminar la mayor cantidad posible de oxígeno en forma térmica, mecánica, para usar la mínima cantidad de sulfito)**. Para disminuir el uso de estos elementos químicos, tenemos dos caminos que se pueden usar juntos o por separado : 1-el calentamiento al máximo del agua de alimentación** (lo más próximo a los 100ºC para eliminar todos los gases, ya que estamos a la presión atmosférica, el oxígeno será expulsado en su mayor parte del seno del agua, esto se ve en la vida diaria al destapar una gaseosa caliente, pierde el gas y al destapar una fría el gas carbónico prácticamente queda en el líquido), **o calentando por encima de los 100ºC con un barrido de vapor** (esto provoca el desprendimiento del oxígeno del agua y es expulsado fuera del tanque de alimentación, esto se llama desareador). **2- la otra es provocando un vacío o descompresión** (que si lo ayudamos con temperatura, prácticamente eliminará los gases contenidos el agua). **Hay una manera de eliminar el oxígeno por medio de resinas de intercambio, método no muy extendido** (dichas resinas se regenerar por medio de productos químicos).

Para ver la influencia de la temperatura en el contenido de oxígeno en el agua cuando la misma está sometida a la presión atmosférica, veamos la tabla siguiente:

**TABLA DE CONTENIDO DE OXIGENO EN EL AGUA DE ACUERDO A SU TEMPERATURA** (a presión atmosférica o sea, tanque con venteo a la atmosfera).

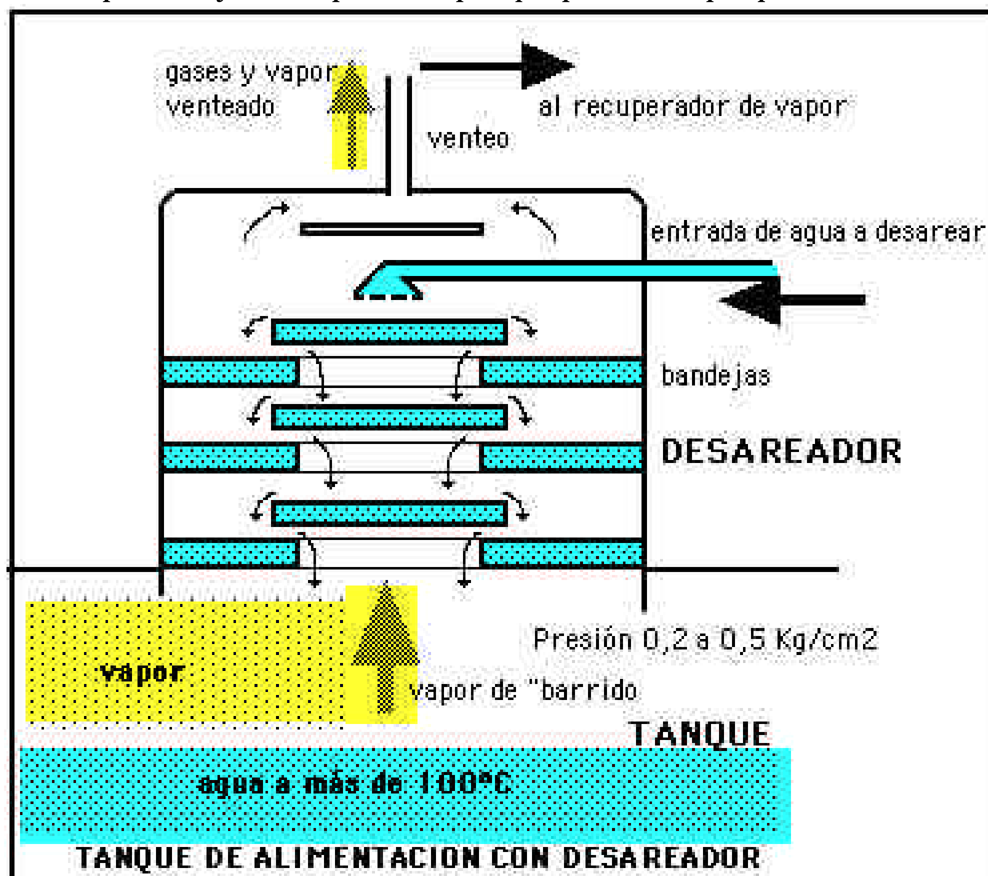
| TEMPERATURA EN ºC | CONTENIDO DE OXIGENO mg/kg |
|---|---|
| 10ºC | 11,25 |
| 20ºC | 9,09 |
| 30ºC | 7,49 |
| 40ºC | 6,41 |
| 50ºC | 5,50 |
| 60ºC | 4,69 |
| 70ºC | 3,81 |
| 80ºC | 2,81 |
| 90ºC | 1,59 |
| 95ºC | 0,86 |
| 99ºC | 0,18 |

**Los tanques de alimentación en general están libres a la atmósfera** (venteos) **y no tienen ningún elementos extractor de los gases:** aquí lo que se puede hacer calentar el agua con inyección de vapor, o serpentina, o en la recuperación de los condensados, hasta **lo más próximo a 100ºC**, para ello el tanque debe estar no menos de 5 m. de altura de la succión de la bomba de alimentación, de lo contrario cavitará (produce vapor en la evoluta de la bomba, haciendo que esta falle, lo que obliga a enfriar el agua de alimentación). **El oxígeno restante, se eliminará con productos químicos** (manteniendo un residual en el agua de caldera).

**Los tanques de alimentación que tienen "desareadores",** se basan en el principio de calentar a contraflujo la reposición del agua del tanque de alimentación, de manera de

mantener un venteo de los gases y con una pequeña cantidad de vapor de "barrido" (este vapor se puede recuperar en un enfriador o intercambiador con la misma agua fría de reposición, se recupera el agua condensada y el calor). Para mantener el tanque de alimentación aislado de la atmósfera y con una temperatura superior a 100ºC (habrá que tener el tanque levemente presurizado) el vapor que se inyecta a contracorriente, mantiene una pequeña presión interna en el tanque (el tanque debe tener todas las **seguridades de que esta pequeña presión no debe pasarse de su valor, ya que puede provocar un accidente por explosión del tanque** (generalmente, se ponen buenos reguladores de presión, además válvulas de alivio o/y columnas con sello de agua). **Estos tanques desareadores deben ser inspeccionados frecuentemente, dado que pueden llegar a tener fisuras por fatiga, siendo esto un riesgo para la planta.** También se debe de eliminar químicamente el oxígeno que no fuera eliminado, que en este caso es muy bajo, dejando un valor residual del secuestrante en el agua de caldera.

El desareador en sí, por lo general puede ser una "cascada" de bandejas, en el cual el agua entra por la parte superior y el vapor entra por la parte inferior, a contracorriente, el agua se calienta y los gases son barridos a la parte superior, por donde son expulsados a la atmósfera, pasando por recuperador-enfriador de tubos, por donde se precalienta el agua de reposición y se recupera el vapor que pueda escapar por el "venteo".




**Alimentar con agua fría es malo por varias razones, desde el consumo excesivo de secuestrante de oxígeno, hasta la falta de respuesta de la caldera a los cambios de marcha, fuera de los "golpes" térmicos internos, que pueden llegar a producir problemas en la estructura**

## 18- CONTROL DEL AGUA DE CALDERA

En este capítulo se hará una recorrida sobre el control del agua de caldera (su tratamiento químico), viendo los análisis básicos del agua.

**Conviene utilizar un código de colores para distinguir los distintos reactivos que usaremos, lo que mejora el riesgo de un error humano, además de poner el nombre de las soluciones.**

Todo análisis se basa en un indicador que mostrará el viraje de la solución que se mide (o sea el límite hasta que hay que dosificar una sustancia (titulante) que mide el parámetro de acuerdo lo consumido para hacer dicho viraje (se llama titular la muestra). Podemos usar jeringas de plástico para medir la cantidad de solución de titulación que ponemos gota a gota agitando (en un Erlenmeyer) la muestra en una cantidad conveniente a la concentración esperada a medir.

**Cuando decimos N/10 (normalidad 10) de una solución, se refiere a la concentración molecular que tiene la solución de una sustancia**, por ejemplo si decimos "Solución Normal" de ácido sufúrico, equivale a decir que el peso de la molécula del ácido sulfúrito en gramos disuelto hasta un 1 litro con agua destilada, siempre poner los ácidos en el agua y no al revés, ya que puede haber una reacción calórica que puede salpicar y "quemar" (ataque químico a la piel, siendo lo más peligroso la no protección de los ojos y la respiración de los gases desprendidos), por eso cuando decimos N/10 o "décimo normal" es la décima parte del peso molecular en gramos disuelto en agua destilada hasta un 1 litro.

**CÓDIGO DE COLORES:** 1-Rojo.....Alcalinidad a la Fenolftaleína 2-Gris....Alcalinidad Total 3_Negro...Cloruros 4-Azul.....Dureza Total 5-Amarillo.......Fosfatos 6-Verde.........Sulfitos 7-PH 8-Salinómetro. El nombre de los productos de los códigos se encuentra en el detalle de los análisis. Este código es personal en mi caso.

El factor que hay multiplicar el consumo del titulante para saber la cantidad del elemento queee estamos midiendo, depende de la cantidad de muestra y de la "normalidad" de la sustancia "titulante". Por ejemplo, los factores abajo incados son para Ácido sulfórico N/10 (alcalindades Rojo y Gris), ETDA N/50 secuestrante de Dureza Total (Azul) y Nitrato de plata N/10 para cloruros (Negro):

**TABLA DE FACTORES POR VOLUMEN DE MUESTRA:**

| Cantidad de muestra | ROJO | GRIS | AZUL | NEGRO |
|---|---|---|---|---|
| 100 ml | ml.x50 | ml.x50 | ml.x10 | ml.x35,5 |
| 50 ml | ml.x100 | ml.x100 | ml.x20 | ml.x71 |
| 25 ml | ml.x200 | ml.x200 | ml.x40 | ml.x142 |
| Resultados: | ppm CaC03 | ppm CaC03 | ppm CaC03 | ppm Cl- |

**1_ROJO....ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA (viraje color aprox. en PH 8,3-8,4):** Tomar la muestra, dejar enfriar, medir (100 ml., 50 ó 25). Poner unas gotas de Fenolftaleína (gotero rojo), si no hay coloración roja, el análisis se da por finalizado, siendo su resultado = a cero. Si hay color rojo, con la jeringa (roja) tomar de la botella (roja) ácido sulfúrico N/10 (5 ml.) y vertirlo gota a gota (agitando continuamente) hasta que desaparezca el color rojo y el agua quede igual al color que tenía al comienzo del análisis. La lectura en ml. del ácido gastado por el FACTOR correspondiente, da la Alcalinidad a la Fenolftaleína en ppm como $CO_3Ca$.

No tirar la muestra y seguir con la jeringa (roja) con el ácido no gastado.

**2_GRIS....ALCALINIDAD TOTAL (viraje de color a PH 4,3):** Continuando con la muestra anterior, agregamos unas gotas de Naranja de Metilo (gotero gris), la muestra agitada tomará una coloración amarillo pálido, en caso que tome una coloración rosado(rojo salmón), el análisis está finalizado y su lectura será igual a la Alcalinidad a la Fenolftaleína. En el primer caso, color amarillo, debemos continuar agregando el ácido que contenía la jeringa (roja) o llenarla nuevamente en caso que se hubiese utilizado todo el ácido que contenía ésta, gota a gota y agitando continuamente hasta que aparezca el color rosado. La lectura de los ml. gastados será desde el comienzo de la medición de la Alcalinidad a la Fenolftaleína. La lectura de los ml. por el FACTOR correspondiente dará el resultado de la Alcalinidad Total expresada en ppm como $Ca\ CO_3$. No tirar la muestra, continúa Cloruros.

**La Alcalinidad Hidróxido ("soda libre") sale de la relación de multiplicar la Alcalinidad a la Fenolftaleína por 2 menos la Alcalinidad Total = Alcalinidad Hidróxidos (permite ver la cantidad de "soda libre" en el agua de caldera). En baja presión (hasta 10 Kg/cm2) conviene que la "soda libre" sea menos de 450 ppm como $CO_3Ca$ (Carbonato de Sodio), ya que a valores más altos, se producen espumas (que provocan arrastres de agua de caldera en el vapor y además aumenta la posibilidad de "fragilidad cáustica" en zonas de alta vaporización). A medida que sube la presión se ha de ir bajando la "soda libre" hasta que la misma dé un valor negativo (a partir de los 40 Kg/cm2) bajando a valores de falta de soda libre para que el PH esté debajo de la curva del Fosfato Trisódico (para alejarse la posibilidad de ataque local de soda sobre las superficies de alta vaporización).**

**3_NEGRO......CLORUROS, (método "Mhor"):** Con la muestra anterior, agregamos unas gotas de Cromato de Potasio hasta que la muestra tome una coloración amarilla (gotero negro), con la jeringa (negra) tomamos Nitrato de Plata N/10 (botella negra) , agregamos gota a gota (agitando continuamente) hasta que aparezca un color Rojo Ladrillo permanente. La lectura de los ml. de Nitrato de Plata N/10 gastados por el

FACTOR correspondiente, da el resultado en ppm. como ion Cloruro (Cl–). Si en la muestra no se hubiese hecho Alcalinidad, es necesario poner unas gotas de Fenolftaleína (gotero rojo) agregar ácido sulfúrico N/10 hasta que el color rojo desaparezca . En caso que la muestra contenga sulfitos (más de 60 ppm SO3--), para evitar interferencias, se deben pasar a sulfatos. Para ello agregar a una muestra nueva, unas gotas de Peróxido de Hidrógeno (agua oxigenada) o dejar la muestra varias horas en contacto con la atmósfera.

**4_AZUL....DUREZA TOTAL:** Tomar una muestra nueva, agregar unas 10 a 20 gotas de solución de Amoníaco (gotero azul) agitar y agregar una pizca de INDICADOR de Dureza (recipiente azul, polvo negro a base de Negro de Eriocromo T y un buffer) agitar. Si da una coloración azul transparente, no hay dureza; si da una coloración borra de vino, hay dureza y la mediremos :-Utilizando la jeringa (Azul) tomar de la botella de EDTA (botella azul, el ETDA es un secuestrante de dureza calibrado a un valor equivalente a N/50, EDTA abreviación del ácido etilendiamino tetraacético, más una pisca de hidróxido de magnesio para que pueda "virar" en agua que no contienen magnesio, ya que es la presencia de magnesio la que le permite "virar" al llegar al final del análisis) y agregando gota a gota lentamente (con agitación continua) hasta que aparezca una coloración azul transparente. La lectura en ml. de EDTA gastados por el FACTOR correspondiente da la DUREZA TOTAL en ppm. como CaCO3.

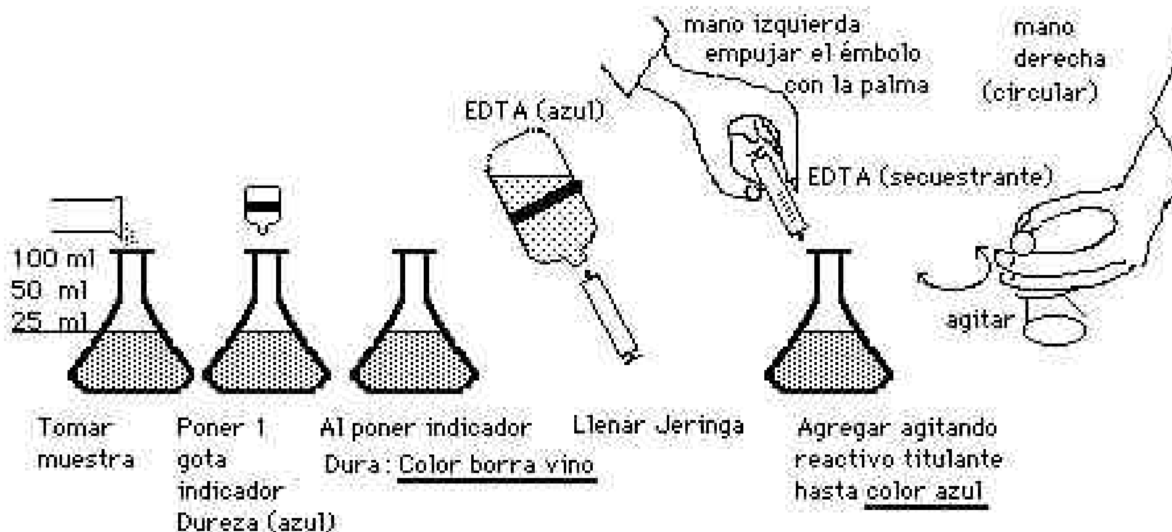
En los casos de aguas de caldera turbias (con probable interferencia de hierro) o alcalinidades muy elevadas, es aconsejable diluir la muestra en 5 ó 10 diluciones, multiplicando luego el resultado por las diluciones. El agua para las diluciones debe de ser des-ionizada o destilada (probar la dureza antes). No es necesario hacer el análisis en aguas de calderas con un exceso de fosfatos.

**5_AMARILLO....FOSFATOS usando un indicador a base de Molibdato y Metavanadato**: Tomando el embudo con papel filtro (si el agua estuviera turbia), se llenará con agua a analizar, poniendo el pico del embudo en el tubo de plástico (transparente de 10, se llenará una vez para enjuague y se tirará, se llenará nuevamente hasta la marca superior (10 ml.) o inferior (5 ml.), se pondrán 8 gotas de indicador (gotero Amarillo) ó 4 gotas si se utiliza la marca inferior. Y se tapará, agitando y dejando reposar 5 minutos - se comparará el color amarillo resultante. Este será el resultado en ppm. leído en el comparador como ppm. de PO4-3. Este reactivo utilizado puede ser a base de Molibdato de Amonio y Metavanadato, ácido sulfúrico y agua destilada, dando una reacción de color amarillo con el fosfato (que se podrá comparar, o visualmente o con un colorímetro). Su ventaja de uso es que tiene pocas interferencia (especialmente con la sílice).

**6_VERDE......SULFITOS: Usando varillas (importadas: Merck® u otra marca)** que medirán semi-cuantitativamente . Utilizar muestra de agua no aireada. Sumerja la varilla (la parte indicadora ) unos segundos (5 a 10 segundos), dejar escurrir unos segundos, pasados los 30 segundos (no más tiempo) comparar con la escala de colores. La lectura será ppm de SO3-2 .

**7-PH : Usando varillas de PH 0-14** (importadas, como puede ser Merck®). En un recipiente limpio y enjuagado con la misma agua, poner una muestra fría del agua de caldera no aireada (10 a 50 ml.). Sumergir la varilla indicadora de PH (debe ser capaz de indicar entre PH 8 a 13 ) unos segundos (5 a 10 segundos) y luego comparar inmediatamente con los colores del comparador.

**8-TOTAL DE SALES DISUELTAS (T.S.D.)** Usando medidores de conductividad para aguas de caldera, en $\mu$Sm o ppm (recordar que el agua de caldera no responde a una conductividad equivalente a una solución patrón para laboratorio, sino que responde más hacia aguas con variado contenido de sales, esto cuando se calibra para ppm (partes por millón) siendo la más usada la solución patrón de que 2,35 gramos de Cloruro de sodio por litro equivale a 3.000 ppm (se puede decir que 3.000 ppm equivalen a 4.500 $\mu$S/cm). Generalmente la compensación por temperatura de estos medidores es automática a 25ºC (de lo contrario daría una valor erróneo si no se corrigen, ya que a medida que aumenta la temperatura de la muestra aumenta la lectura. Antiguamente se hacía la corrección manual, midiendo la temperatura de la muestra y restando o sumando, según sea la temperatura, al valor dado por el conductivémetro de corrección manual), en el caso de los medidores por gravedad, también hay que corregir por temperatura, ya que la densidad del agua varía de acuerdo a su temperatura : **Enfriar la muestra de la misma forma que los anteriores análisis. Seguir las instrucciones del medidor a usar, así sea por conductividad o gravedad.**




**Como vemos en el esquema anterior, el procedimiento para medir la Dureza Total de un agua**. Este procedimiento se aplica en todas las mediciones: primero un indicador (generalmente unas gotas) que vira al finalizar la titulación (Negro de Eriocromo en Trietalonamina o Negro de Eriocromo con una gotas previas de amoníaco para elevar el PH) y luego con una jeringa calibrada de plástico de 5 ml (por ejemplo), ponemos el "titulante" (EDTA, el elemento que mide según su cantidad, concentración y cantidad de muestra) gota a gota hasta producir el "viraje" (cambio de color). Usando la cantidad de "titulante" en mililitros, se multiplican por un "factor" que dependerá de la concentración del "titulante" ("normalidad" o sea la fracción del peso molecular en gramos disueltos en una solución de 1 litro de agua destilada, si decimos N/10 o normal 10, es el peso molecular del "titulante" divido entre 10 y disuelto en la solución con agua destilada hasta 1 litro) y lo otro que interviene para configurar el "factor" es la cantidad de muestra que tomamos para hacer el análisis, cuanto menor es la muestra, mayor es el "factor" de cálculo. Ver tabla al principio de este capítulo.

Es muy importante que el agua esté "clara", de lo contrario filtrar con papel filtro.

En el caso de la medida de los fosfatos, PH y sulfitos, la guía es el color desarrollado en el tubo en que se puso la muestra o en el papel sumergido en la muestra.

**VEAMOS COMO MANEJAR UN TRATAMIENTO DE AGUA BASADO EN FOSFATOS Y SULFITOS (el tratamiento eficáz mas antiguo) de una caldera humo-tubular con una presión de trabajo de 10 Kg/cm2.**

**FORMA DE HACER LOS ANÁLISIS RÁPIDOS DE CONTROL DE PRODUCTOS Y PURGAS DE CALDERAS UTILIZANDO LOS PRODUCTOS A BASE DE FOSFATOS Y SULFITO.**

**Toma de muestra:** Tome la muestra de agua de caldera con un frasco de plástico de 1/4 ltrs. por lo menos, que se pueda tapar. Saque la muestra de la purga continua, purgando y enjuagando el frasco con el agua de caldera, asegurándose que ha tomado el agua del interior de la caldera. Enfríe el frasco al aire o con agua hasta la temperatura ambiente (bien tapado). Haga el análisis lo antes posible.

**2- Llene la cubeta del conductivímetro 2 o 3 veces para enjuagar la cubeta**. Sumerja los electrodos del conductivimetro, después de 3 minutos de sumergido para que compense la temperatura para poder medir las sales disuelta (T.S.D. total de sales disueltas):

a-Probamos que el conductivímetro tiene la batería en condiciones. . Si el instrumento indica más de 3.000 ppm (partes por millón) debemos de aumentar el régimen de purga (abrir un poco más la continua, no dejar de purgar de fondo y niveles cada 4 horas). En caso que el valor dé por debajo de 2.500 ppm, cerrar un poco la purga continua. Cuando el ablandador no funciona correctamente los sólidos disueltos disminuyen y las sales en suspensión aumentan (barros) y disminuyen los fosfatos, por lo que hay que controlar el ablandador y es preferible que la caldera se mantenga con las sales disueltas bajas (para que los barros sean purgados por purga de fondo). Ajuste el conductivímetro cada 3 meses por lo menos.

**3-Control del producto del sulfito (control del oxígeno y cloro)**: En la misma cubeta del conductivímetro mojamos unos 5 segundos el "papel" para medir sulfitos, luego de 30 segundos los comparamos en la cartilla de colores del tubo de envase y el valor deberá dar entre 50 a 100 ppm como SO3-(radical sulfito). En caso que dé un valor más bajo que el indicado, se puede deber a : agua de alimentación fría, se está echando poco Sulfito o un turno no echó, se está purgando demasiado la caldera (lo indica el conductivímetro), se está tirando el condensado por rotura de alguna línea y entra más agua de reposición. Si falta Sulfito, puede aumentar la cantidad en caso que se piense que es poco por turno, o puede aumentar una dosis extra en caso necesario para compensar si la falta es debida a un problema transitorio (olvido, rotura , exceso purga, etc.).

La desaparición del sulfito en el agua de caldera, o sea la utilización de cantidades mayores a lo previsto, se puede deber a que entra agua con cloro, se debe investigar, ya que la única protección que tenemos del cloro (muy corrosivo) y el oxígeno es el exceso de sulfito. El aumento de

condensado y el aumento de la temperatura del agua de alimentación bajan la necesidad de poner Sulfito al tener menos oxígeno.

Arriba de los 40 Kg/cm2 de presión no se debe usar el sulfito de sodio porque tiende a descomponerse y esto ataca al metal de la caldera en vez de protegerlo.

La caldera parada (fuera servicio) deberá tener siempre un exceso de sulfito de más de 100 ppm (y PH más de 10,5)

**4-Control del FOSFATOS**: (control de incrustaciones, PH y lodos si lo combinamos con un acondicionador de lodos orgánico). De la muestra de caldera, poner en el tubito (tubito vacío) de fosfato hasta la marca (5 ml., segunda marca) con previo enjuague con la misma agua, luego ponga 4 gotas del gotero del indicador de fosfatos, tápelo y agítelo. Espere 3-6 minutos. El color amarillo del agua en el tubito deberá ser igual al de muestra indicadora (100 ppm como radical orto-fosfato). En caso que sea más clara : podrá ser por falta de FOSFATOS, por funcionamiento inadecuado del ablandador que deja pasar agua dura o entra dureza por el condensado (en estos casos el agua de caldera estará más turbia y aparece en el conductivímetro como más purgada), o por olvido de poner productos, o por exceso de purga (esto se indica el las sales disueltas dadas por el conductivímetro). La contaminación también puede venir por las líneas de vapor al parar la caldera (se produce vacío).

**5-Control del PH :** Con el papel de PH lo puede sumergir en la misma cubeta del conductivímetro, unos 5 segundos, luego compare en la cartilla de colores. La alcalinidad debida a al hidróxido de sodio, proviene del ablandador de agua, que convierte todos los bicarbonatos de Calcio y Magnesio en Bicarbonatos de sodio, que se descomponen con la temperatura del agua de caldera, quedando en forma de Hidróxido de sodio, que hay que limitar su PH a 11,5, dado el problema de ataque de corrosión por hidróxido y fundamentalmente por la formación de espumas (que contaminan el vapor y producen el riesgo de arrastres masivos de agua de caldera, dejando superficies de intercambio con falta de refrigeración con riesgo de "quemarse" y fundamentalmente por ir agua de caldera en el vapor, lo que provoca "golpes de ariete" (masas de agua que golpean contra los cambios de dirección del vapor y especialmente contra los equipos de intercambio, pero además el vapor pasa a ser contaminante de agua de calderas en los procesos (alimentarios, textiles, etc.).

Si fuera aguas de característica ácidas, habrá que poner Soda (en forma de hidróxido de sodio o sea soda caústica, en escama, perlas o líquida al 50% o como ceniza de sodio que es menos peligrosa de manejar), para lograr un PH por encima de PH10,5 y lograr "soda libre" en el agua de caldera en baja presión y media presión, pero a medida que la presión sube se deberá bajar la "soda libre" (alcalinidad hidróxido) en el agua de caldera a partir de los 40 Kg/cm2 deberá no haber "soda libre" o alcalinidad hidróxido (que en alta presión se producen ataque se la soda a las superficies de transferencia de alta vaporización, este tipo de tratamiento

se llama "congruente" y sigue una curva de PH que va bajando de PH11,5 a medida que sube la presión. Esto se consigue utilizando fosfatos más ácidos (fosfato disódico, monosódico y en sustitución parcial al fosfato trisódico que es el que contiene más soda, también se pueden usar polifosfatos de distintas cantidad de soda en su composición).

El PH que deberá tener será de 10,5 mínimo a 11,5 máximo. Si el PH es más de 11,5 casi 12, debemos purgar más aunque el T.S.D. esté a menos de 2.500 ppm. Esto se debe en general a las condiciones del agua en épocas de secas si el ablandador funciona bien. También si falta purga el PH será más de 11,5. Un PH mayor a PH 12 hace peligrosa la operación de la caldera, pudiendo colapsar por mala circulación interna. En el caso que el PH sea bajo, podrá ser debido: a contaminaciones, al retorno condensado o a que el ablandador funcione mal o entra agua dura (en este caso también bajan los fosfatos y el agua se pone turbia). La caldera parada (fuera de servicio) deberá tener un PH arriba de 10,5, ideal 11 a 11,5, si es necesario agregar un poco de soda cáustica o ceniza de soda junto con el producto M . (ejemplo : agregar 100 g. de soda por cada m3. de agua de caldera).

**La caldera en marcha se debe analizar cada turno la dureza del ablandador, y los valores límites una vez al día o dos veces por semana o cuando se sospeche que hay problemas** (como ser: agitación de niveles, turbidéz, etc.), la caldera parada controlar cada 15 días. **En caso que la caldera parada se le agregue productos hay que prenderla un poco hasta que largue vapor por el grifo atmosférico y luego inundarla.**

**Enjuague bien todos los elementos de ensayo, especialmente la cubeta del conductivímetro.**

Cuando aumente los productos hágalo en % bajos (20% cada vez) y espere un par de días para volver a analizar, o si desea corregir una faltante de productos ponga una medida extra una vez (un turno ).

**Para el cálculo del agua de reposición,** se asume que por cada 1 LITRO de F. Oíl evapora aprox. 13 litros de agua (en leña con 25%Hbh se puede decir que equivale a 4 litros de agua por 1 Kg. de leña aprox). Suponiendo que el condensado sea un 30% y la purga sobre el agua de reposición del 30% (agua pozo con mucha salinidad y alcalinidad), podemos asumir que por cada 100 L. F. oíl , estamos reponiendo 100 x 13 x (1-30/100) x (1+ 30/100)= 1,183 Ltr. (1,2 m3/100 L. F. Oíl). Con un cálculo similar, según sea el consumo de F. Oíl por día, podemos calcular los m3. de agua de reposición, lo que nos permite calcular la cantidad teórica del Fosfato (dependiendo que tipo de fosfato,por lo general 30-40 g/m3 y del Sulfito (por lo general 60-80 g/m3, si hay buena temperatura en el agua de alimentación). Estos valores luego se ajustan por los análisis de fosfatos y sulfitos (indicados anteriormente).

**Purgar los niveles cada 4 horas, de fondo un purga por turno como mínimo y colectores (gasógeno) cada vez que haya una oportunidad que haya baja vaporización (una vez al día, mínimo una vez por semana).**

**Purga contínua, se calcula de acuerdo a el TSD del agua de reposición, si es agua de pozo la purga contínua será no menos de 20% sobre el agua de reposición, en agua de ósmosis con muy baja salinidad, la purga debe ser mantenida en un 5% para evitar que se produzcan excesos de ciclos de concentración de los condensados** (que contienen muchas impurezas, desde óxidos de hierro a pequeñas introducciones de otros productos que penetran por pérdidas de las superficies de calefacción). **La purga contínua permitirá ajustar el TSD, abriendo o cerrando de acuerdo a la lectura, manteniendo las purgas de fondo y de nivel en forma de no tener que regular el TSD con dichas purgas (que en realidad son más para sacar "barros" y en el caso de los controles de nivel, además de limpiar los cuerpos de los controles de barro, probar que cortan el quemador** (o el aire y tiro en leña) **en caso de un bajo nivel de agua** (muy importante para la seguridad de la caldera).

**LOS LIMITES QUIMICOS DEL AGUA DE CALDERA:**

**Los límites a fijar en los tratamientos químicos de los elementos que hay en el agua de caldera, dependen de la presión en forma general, pero dependen también del tipo de caldera, del uso que se le hará al vapor (vapor de alta "calidad" para procesos alimenticios o textiles (teñidos).**

El límite principal lo fija aquel elemento que más incide en el agua de reposición y del tratamiento a que es sometida esta.

**Para la fijación del % de purga, no solamente se debe de considerar el total de sales disueltas (T.S.D.),** sino que deben considerarse otros factores, como ser : la **máxima sílice** admisible para la presión, uso del vapor, posibilidad de incrustación con sílice, incrustación muy aislante y de muy difícil extracción, etc. que en baja presión **por lo general no debe pasarse de 300 ppm como SiO2** ( o sea que si el agua de reposición es de elevada sílice, habrá que disminuir los ciclos de concentración al máximo establecido), también debemos de **considerar la alcalinidad total** (las sales alcalinas que trae el agua de reposición, como ser los hidróxidos, los carbonatos y los bicarbonatos) que por lo general **en baja presión la limitación de la alcalinidad total es de 900 ppm como CO3Ca**, esto significa que hay aguas de pozos de alta alcalinidad que no se podrán ciclar más de 2 a 3 c.c. (esto es una purga muy elevada), el otro elemento a considerar son el **total de sólidos en suspensión**, que en **baja presión por lo general no deberían pasar de 300 ppm** (generalmente las aguas vendrán sin sólidos en suspensión, pero si entran sales con dureza en la caldera, estas al precipitar formarán sólidos en suspensión que provocarán problemas en la circulación interna, espumas, etc.). **Estos límites, combinados, suman sus efectos y deben disminuirse los ciclos de concentración. Todos estos límites serán más bajos a medida que la caldera sea de mayor presión o la calidad del vapor más exigente.**

El **PH es un límite muy importante, en baja presión es conveniente no trabajar por encima de PH 11,5** (se produce la pérdida del óxido magnético, capa que protege de la corrosión al metal de la caldera)**, ni por debajo de PH 10,5** (valor que también produce la pérdida de la capa de protección de óxido por acidez). **En media y alta presión, aparecen problemas que obligan a trabajar con PH más bajos que PH 11,5,** dado que en las superficies de alta transferencia térmica se producen zonas localizadas con la

presencia de soda libre en altas concentraciones (que ataca al metal), estos valores de PH en que se trabaja, depende de la presión y tipo de tratamiento, por lo general a este tipo de tratamiento con un control estricto del PH (a valores por debajo de PH 11,5), se le llama "tratamiento químico congruente" (generalmente hechos con fosfatos combinados con mayor o menor cantidad de sodio combinado, de manera de que no quede sodio libre o alcalinidad hidróxido).

Podemos decir que el PH es el resultado de la relación de las alcalinidades, y que la soda libre es el equivalente a la Alcalinidad a la Fenolftaleína por 2 menos la alcalinidad Total (anaranjado de metilo). **De nuestra práctica, diremos y aconsejamos, que en baja presión** (calderas humo-tubulares, siendo más estrictos en calderas acuto-tubulares) **no trabajar con soda libre por encima de 450 ppm** (como CO3Ca), **se pueden producir graves problemas de circulación interna del agua, que ponga en peligro la integridad de la caldera** (hasta el colapso del hogar)**.**

En alta presión, a los efectos de no introducir sales que produzcan acumulación en el agua de caldera, algunos métodos utilizan elementos volátiles (o sea que actúan en la caldera en su pasaje, sin dejar residuos, por supuestos que estos tratamientos no admiten una calidad de agua que contengan elementos que puedan precipitar, acumularse,etc, es agua totalmente desmineralizada, con una altísima resistividad, un control de sílice y no admite errores en el tratamiento del agua a reponer).

**La ASME,** (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, en su comité de Vapor y Agua en sistemas Térmicos de Potencia) ha recomendado los **límites máximos aceptables**, tanto para el agua de alimentación como del agua en el interior de la caldera (fijados para **calderas acuo-tubulares**), veamos algunos de estos límites del agua de caldera, que están en consideración de la presión).

**TABLA DE LIMITES QUÍMICOS PARA CALDERAS RECOMENDADOS POR ASME**

| **Presión** (Kg/cm2) | **0-21** | **21-31** | **31-42** | **42-53** | **53-63** | **63-70** | **70-105** | **105-140** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sílice**(mg/l SiO2) | ≤150 | ≤90 | ≤40 | ≤30 | ≤20 | ≤8 | ≤2 | <1 |
| **Alc. Total** (mg/l) | <350 | <300 | <250 | <200 | <150 | <100 | - | - |
| **Alc. Hidróxido** (mg/l) | | No se especifica....................................................... | | | | | | |
| **Conductiv.** (μS/cm) | <3500 | <3000 | <2500 | <2000 | <1500 | <1000 | ≤150 | ≤100 |

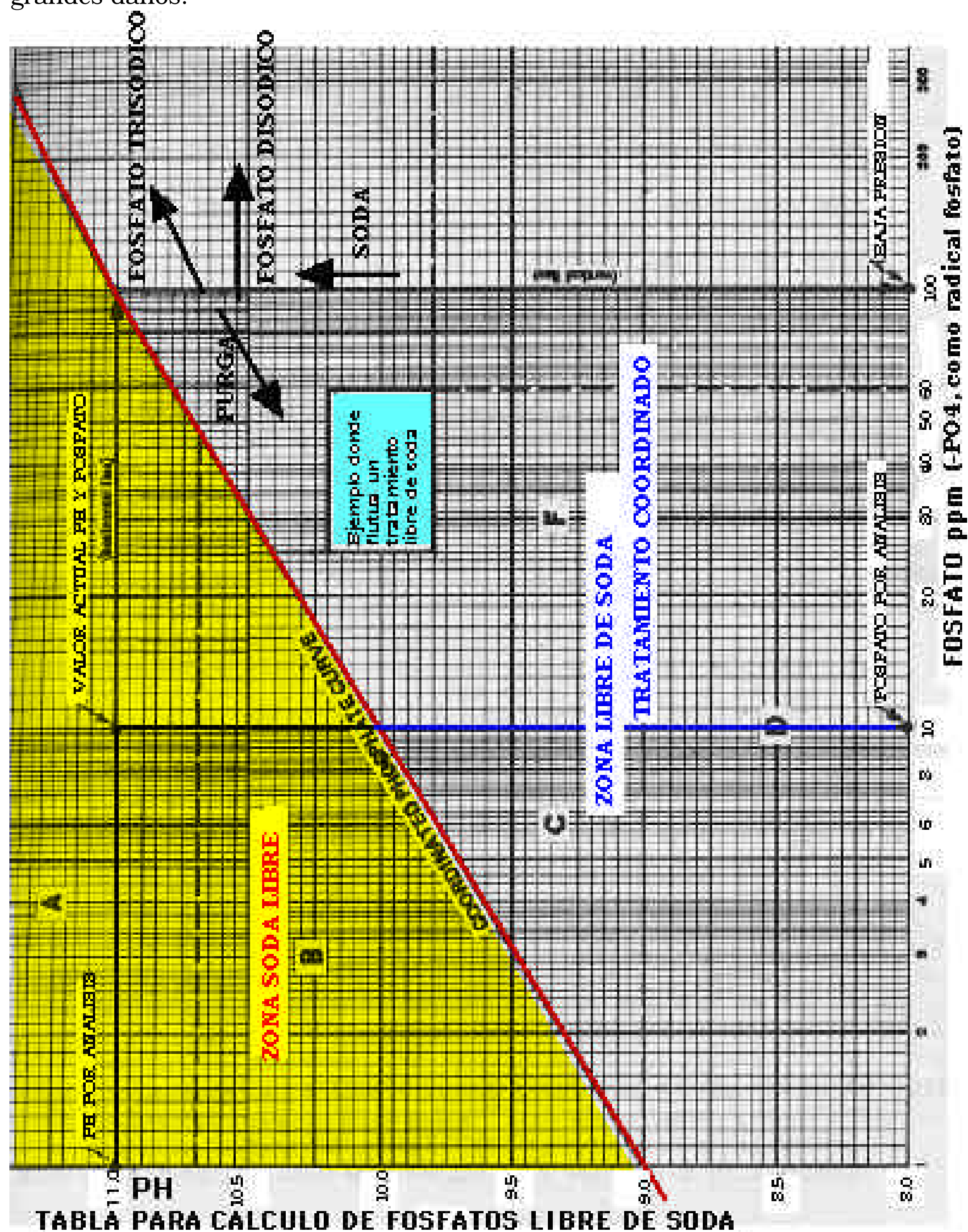
Las alcalinidades se dan en CO3Ca (carbonato de calcio) y la conductividad es sin neutralización (es decir, el agua de caldera como está al tomar la muestra, si queremos expresarla como **ppm-partes por millón- dividir los μS/cm por 1,5**).
**Esta tabla es muy teórica**, deben tenerse en cuenta una serie de factores para fijar los límites, no solamente la presión (presión, tipo de caldera, calidad deseada del vapor, tipo de planta a alimentar de vapor, etc.) , tarea que debe recomendar el tratamentista con su conocimiento y experiencia). En calderas humo-tubulares, en baja presión, los límites son más generosos, dependiendo de la calidad deseada del vapor, calidad del agua de reposición, tipo de proceso a alimentar de vapor, tipo de combustión, etc.

Veamos un tratamiento de Fosfatos para calderas (si bien hay otros tipos de tratamiento, el tratamiento de Fosfato es el más clásico y el más provado en el tiempo).

**CURVA PARA UN TRATAMIENTO CONGRUENTE (COORDINADO) A BASE DE FOSFATOS**

Estre gráfico separa por una curva la **zona sin soda libre o NaOH o alcalindad hidróxido** (zona amarilla, la cual se trabajan las calderas de media-alta y alta presión o sea a más de 40 Kg/cm2 aprox.) **de la zona con soda libre** (Na0H, en la cual se trabaja en baja presión y media-baja presión, hasta los 40 Kg/cm2 aprox.). Los fosfatos que podemos utilizar son **el Fosfato Trisódico (Na3pO4) que eleva el PH siguiendo la curva,** y el **Fosfato Disódico (Na2PO4) que sigue la horizontal manteniendo el PH constante**, el

**Hidróxido Sodio que eleva el valor del PH en forma vertical**, siendo **la purga lo que baja el PH** (generalmente la purga continua o de emergencia la de fondo con el quemador apagado en baja presión, en media alta y alta presión no se deben usar las purgas de fondo con toda la presión de la caldera, ya que un golpe de ariete puede provocar un grandes daños.



**Para saber si tenemos soda libre (hidróxido de sodio) en el agua de caldera, no solo con esta gráfica que lo permite, sino que hacemos la Alcalinidad a la Fenolfteleína** (cuyo PH de viraje está en el entorno de PH 8,3-8,4) **y hacemos la Alcalinidad Total** (con Anaranjado de Metilo cuyo viraje está en el entorno del PH 4,3-4,4) **multiplicando lo que dá la Alcalinidad a la Fenolftaleína por 2 menos lo que dá la Alcalinidad Total nos dá la Alcalinidad Hidróxidos** (que es lo mismo que la soda libre), **el resultado se expresa como Hidróxido de sodio libre en las mismas unidades que hemos empleado para medir las alcalinidades anteriores.**

Es muy importante este análisis, ya que en baja presión nos permite ver si tenemos problemas con el ablandador de agua (un gran aportador de Bicarbonato de sodio de la Dureza Temporaria, que al entrar en la caldera deja libre la soda y el anhídrido carbónico se va con el vapor al descomponerse con el calor).

**FOSFATOS MAS COMUNES PARA TRATAMIENTOS CON FOSFATOS:**

**Fosfato Trisódico con 12 moléculas de agua $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$** (el más común con 18,3% de Fosfato como $P_2O_5$, el contiene menos fosfatos)

**Fosfato Trisódico con 1 molécula de agua $Na_3PO_4 \cdot H_2O$** (supuestamente "anhidro" o sea seco, tiene 39,5% de fostato como $P_2O_5$ porque contiene menos agua por kg.).

**Di-Fosfato de sodio $Na_2HPO_4$** (anhidro, ya que no contiene moléculas de agua, y tiene un rendimiento de fosfato 48,0% como $P_2O_5$).,

**Di-Fosfato de sodio con 12 moléculas de agua $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$** (tiene un rendimiento de 19.0 como $P_2O_5$).

**Monofosfato de sodio**, hay dos, uno anhidro, sin moléculas de agua y uno con 1 molécula de agua, se usan relativamente poco (salvo como Hexametafosfato).

**Los fosfatos llamados polifosfatos**, se usan con gran ventaja en los tratamientos de fosfatos, debido a que no precipitan con la dureza del agua en el tanque de alimentación, se acomplejan con la misma y evitan los daños de las bombas y válvulas de alimentación, recién con el calor del agua de caldera se descomponen en los fosfatos básicos formando sales de fosfatos. Estos son, el **Hexametafosfato de sodio** $[Na(PO_3)]_6$**, el Trípoli Fosfato de sodio** ($Na_3P_3O_{10}$) **y el Pirofosfato tetrasodico** ($Na_4P_2O_7$), siendo el que contiene menos sodio el primero o sea el Hexametafosfatos de sodio ($[NaPO_3]_6$), la gran ventaja de estos fosfatos es que se usan en la mayoría de los elementos de limpieza de una casa y algunos en la fabricación de alimentos (lácteos y otros), lo cual habla de su baja posibilidad de contaminación que pueda provocar daños (salvo en los efluentes con grandes cantidades de Fosfatos que provocan el crecimiento de algas).

Hay que recordar, que cuando usamos un tratamiento a base de fosfatos, si el PH es muy bajo, los mismos fosfatos pueden ser incrustantes con la dureza. Una gran ventaja de los tratamientos con fosfatos, es que no solo reacciona el fosfato con la dureza del agua formando precipitados de barros (ayudados con un acondicionador de lodos para que no se peguen contra las superficies, son extraídos por las purgas de fondo, prefiero los acondicionadores orgánicos naturales, son menos contaminantes como el almidón de maíz) y tienen una relación respeto a la corrosión que todavía no se ha definido su rol que contribuyen a mantener la corrosión en valores muy bajos (calderas que duran sus tubos por más de 30 años sin alteración de su superficie).

**En cuanto al uso de Sulfito de Sodio** ($Na_2SO_3$) **para el secuestro de oxígeno y cloro** (cuando el agua es tratada con Hipoclorito de sodio)**, este último muy corrosivo en la caldera en caliente, cuando el oxígeno es corrosivo en la caldera cuando está fría, pero es corrosivo en el sistema de condensado potenciando el Anhídrido carbónico ($CO_2$) de la descomposición de los Bicarbonatos de Sodio, Calcio o Magnesio con la temperatura alta en el interior de la caldera, su uso está limitado a presiones como máximo de 40 Kg/cm2, ya que a presiones mayores se descompone y provoca corrosiones en la caldera y los sistema de vapor y condensado** (ya por

encima de los 40 Kg/cm2 se debe usar otro secuestrante de oxígeno y nó el Sulfito). La gran ventaja de sulfito de sodio es que no es "contaminante", mientras que otros secuestrantes de oxígeno sí lo son.

**Como precaución, es conveniente eliminar el cloro que pueda traer el agua** (no confundir con el ion cloruro), ya que este es muy corrosivo sino nos protege una suficiente cantidad de Sulfito, por lo que conviene tener un **Filtro de Carbón Activado** que nos saque el cloro (del Hipoclorito de desinfección o cloro gaseoso que se haya inyectado al agua para desinfectar), el Carbón Activado absorbe los gases que pasan por su lecho (que tiene una altísima porosidad, estos filtros se parecen a los ablandadores de agua en su forma física de trabajar, si bien se contralavan cada tanto para sacar los barros que pueda contener el agua, el carbón activado se irá agotando con el tiempo y habrá que cambiarlo cada tanto, por eso se debe controlar si el pasaje del agua por el filtro de carbón queda libre de cloro (por medio de análisis de Cloro Libre o Total).

**En cuanto al oxígeno, si no tenemos un desareador** (en el tanque de alimentación de agua de reposición) **el consumo de Sulfito de Sodio puede ser muy importante y esto provoca un aumento del Total de Sales Disueltas (TSD) en el agua de caldera que obliga a purgar más**, por lo que si no tenemos "desareador" **debemos calentar el agua de alimentación lo más próximo que podamos a los 100ºC para que los gases sean despedidos del seno del agua.**

Cuando debamos tratar calderas "locomóviles" (de ferrocarriles, por ejemplo), es conveniente que pensemos en utilizar **Taninos** (extracto de quebracho antiguamente) junto con el tratamiento, ya que estas **calderas son "remachadas" y pueden sufrir problemas de "fragilidad" en el agua**, lo que podría provocar un accidente. El Tanino, no solamente ayuda evitar esto, protege en parte de la corrosión por oxígeno y es muy dispersante de lo que tiende a depositarse en las superficies del metal. Hoy en día el Tanino es sintético. Lo estamos utilizando hace muchos años en la caldera de la Locomotora "Corazón de Fuego" con muy buen suceso.

**La frecuencia de análisis del agua de calderas deberá ser según sea el comportamiento de la planta** (posibilidad de contaminaciones, como el caso de una fábrica de azucar que puede el condensado venir con azucar, usando Alfa-naftol y ácido sulfúrico para detectar su presencia de azucar cada hora o bajo sospecha por la formación de espumas, y otros tipos de de fábricas contaminantes como frigoríficos, chacinerías, etc.), pero lo mínimo que se puede en frecuencia analizar una caldera es una vez por semana, siempre que sea una instalación sin riesgos y de baja presión.

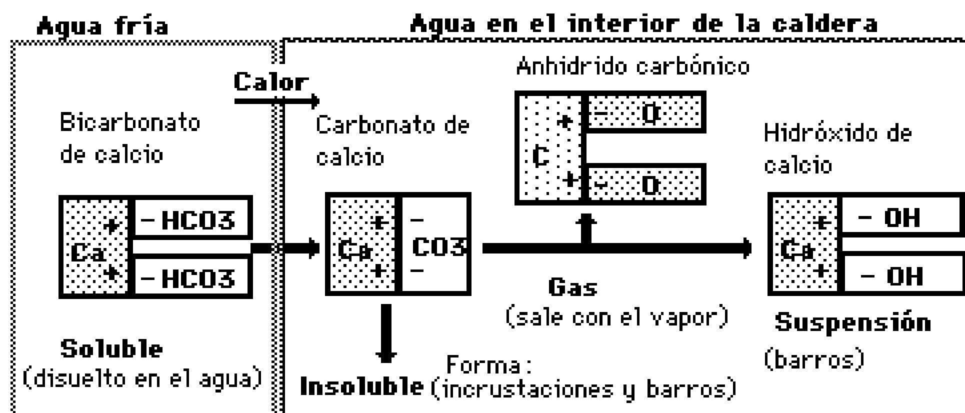
**En lo que soy partidario, es que sean los foguistas quienes hagan los análisis básicos y laboratorio central los análisis de control que exijan más laboratorio, pero el foguista está en contacto con la caldera en forma permanente y podrá tomar medidas inmediatas por los análisis que ha hecho o hacer los análisis bajo sospecha que algo anda mal en el agua** (como ser: oscilaciones de nivel, espumas, etc.).

**Reacciones químicas más comunes en el agua de caldera:**

Estas reacciones se provocan al encontrarse sales distintas (o ellas mismas por efecto de otras causas), que reaccionan debido al intercambio de sus (átomos o iones) provocada por establecer un nuevo equilibrio químico (activado por elementos que ayudan a esta reacción, como ser: la temperatura, el PH, catalizadores, etc.).

Los bicarbonatos (de sodio, calcio y magnesio) sales muy solubles y muy comunes en el agua de reposición de calderas, al entrar en la misma: debido a la temperatura alta se transforman en otras sales o gases.

El bicarbonato de calcio al entrar en contacto con el agua caliente de la caldera produce las siguientes reacciones finales:




El carbonato de calcio precipita (es el mármol que vemos en la naturaleza), formando las incrustaciones y barros. El anhídrido carbónico es un gas (es el mismo de la combustión del carbono y el que se usa para extinguir incendios) con el agua fría se disuelve nuevamente y baja el PH del condensado atacando en presencia de oxígeno el hierro de las cañerías. El hidróxido de calcio que se forma en forma de barros, ya que no es muy soluble (es la cal que usamos para blanquear). Con los otros bicarbonatos sucede algo parecido, pero en el caso del bicarbonato de sodio, este forma carbonatos e hidróxidos muy solubles, que normalmente estarán en la caldera disueltos, formando la "alcalinidad" que precisamos para mantener un PH adecuado en el agua (siempre que no sea en exceso, PH muy elevado o en calderas de muy alta presión que no podremos tener sodio libre).

**DUREZA DEL AGUA**

DUREZA TOTAL = SALES DE CALCIO Y MAGNESIO

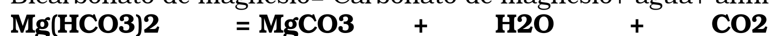
DUREZA TEMPORARIA = BICARBONATOS DE CALCIO Y MAGNESIO

Precipitan con la temperatura (calor).

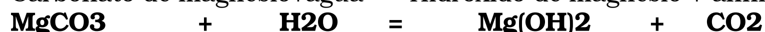
DUREZA PERMANENTE = SULFATOS, CLORUROS, de CALCIO Y MAGNESIO

Precipitan con la concentración.

Las otras reacciones usuales en agua de caldera:
Bicarbonato de magnesio= Carbonato de magnesio+ agua+ anhídrido carbónico


**Mg(HCO3)2 = MgCO3 + H2O + CO2**

Carbonato de magnesio+agua = Hidróxido de magnesio + anhídrido carbónico


**MgCO3 + H2O = Mg(OH)2 + CO2**

Estas sales que contienen Calcio y Magnesio que se descomponen forman la dureza "temporaria" del agua, se llaman así por que se descomponen con la presencia del calor.
Pero también hay sales que forman la "dureza permanente" del agua, que sumada a la "dureza temporaria" forman la "dureza total" del agua, estas sales son :

**Sulfato de Calcio ........ CaSO4, Sulfato de magnesio ...... MgSO4**
**Cloruro de Calcio ......... CaCl2 , Cloruros de Magnesio..... Mg Cl2**

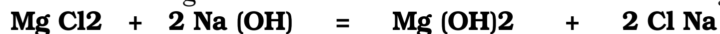
Reaccionan con otras sales:

Cloruro de magnesio + agua = Hidróxido de magnesio + ácido clorhídrico


**Mg Cl2 + H2O = Mg(OH)2 + 2 H Cl**

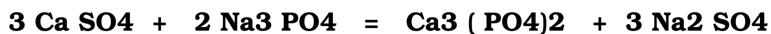
Esta reacción es muy corrosiva por el ion cloruro, pero en una caldera correctamente tratada ocurre lo siguiente: Si hay ablandador, intercambia el Mg fuera de la caldera, en caso que esto no suceda reaccionará con la alcalinidad de la caldera debida al sodio:

Cloruro de magnesio+ Hidróxido de sodio=Hidróxido de magnesio+Cloruro de sodio.


**Mg Cl2 + 2 Na (OH) = Mg (OH)2 + 2 Cl Na**

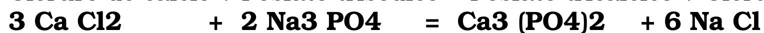
El cloruro de sodio es una sal muy estable, pero es corrosiva cuando hay altas concentraciones (es la sal de comer), la utilizamos como trazador para controlar las purgas midiendo el ion cloruro (para establecer los ciclos de concentración).
El Sulfato de calcio y magnesio son más incrustantes, ya que su saturación disminuye al aumentar la temperatura, por lo que hay que eliminar la dureza antes que entre a la caldera o formar barros no incrustantes con un tratamiento interno adecuado.
Por ejemplo con fosfatos:

Sulfato de calcio + Fosfato trisódico = Fosfato de calcio + Sulfato de sodio


**3 Ca SO4 + 2 Na3 PO4 = Ca3 ( PO4)2 + 3 Na2 SO4**

Con suficiente alcalinidad libre se forma un fosfato de calcio no incrustante que precipita como barro y una sal de sulfato de sodio que no produce incrustaciones o barros.

Cloruro de calcio + Fosfato trisódico = Fosfato tricálcico + Cloruro de sodio


**3 Ca Cl2 + 2 Na3 PO4 = Ca3 (PO4)2 + 6 Na Cl**

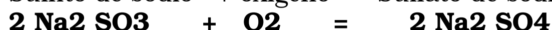
Reacción similar a la anterior.




Hay muchas reacciones más con referencia a las sales que trae el agua y las que ponemos para contrarrestar su efecto. Ahora veremos algo de aquellas reacciones para eliminar el oxígeno del agua. Primero, cuanto más elevada la temperatura de alimentación: menor la cantidad de oxígeno que puede contener el agua, por lo que menos productos químicos deberemos usar.

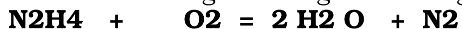
Los productos químicos más comunes son:

Sulfito de sodio + oxígeno = Sulfato de sodio


**2 Na2 SO3 + O2 = 2 Na2 SO4**

En el caso de usar hidracina:

Hidracina + Oxígeno = agua + Nitrógeno


**N2H4 + O2 = 2 H2 O + N2**

Esta reacción no forma sales que se suman al T.S.D. (total de sales disueltas) del agua de caldera, ya que forma nitrógeno (gas inerte), tiene el inconveniente de considerarse un producto de manejo peligroso para la salud (cancerígeno).

## 19-PURGAS DE CALDERA

La **purga de niveles** es obligatoria **por razones de seguridad** (cada 4 horas, saca los barros que se puedan haber acumulado en la cámara de la "bocha" y muy poca agua, dado lo corto de la extracción. **Pero lo importante es verificar que se apaga el quemador**, esto afecta en algunas plantas el momento de hacer la purga para no apagar la caldera, en algunas puede ser tan crítico que se hace necesario poner un dispositivo que prueba el control de nivel, pero no permite apagar la caldera si se presiona un botón transitorio eliminador de tal acción de apagado, pero permite la prueba del sistema. Tener mucho cuidado si se intenta implementar un sistema de este tipo, no debe haber posibilidades de que quede eliminado el sistema de apagado del quemador en forma permanente, ni aún por un falla del sistema). Las **purgas de fondo** no siempre se pueden hacer en cualquier momento (**nunca en colectores, gasógenos, etc. con el quemador prendido,** se puede cortar la circulación interna y quemar el colector o gasógeno), en el cuerpo de la caldera, depende de la presión, del diámetro de la purga, del tipo de caldera, etc. **pero siempre es aconsejable purgar de fondo con el quemador apagado y si es posible el vapor cerrado** (en calderas de baja presión, con toda la presión, purgas cortas, repetidas entre intervalos de tiempo, para dejar acumular los barros sobre la salida de la purga, en alta presión no se debe purgar con toda la presión)**, dado que lo que se busca con la purga de fondo, es sacar barros** (los barros deben asentar) **y sales.** Conviene que la purga de fondo tenga dos válvulas, una de seguridad, contra la caldera y otra de operación de la purga. Abriendo la primera totalmente, purgando suavemente con la segunda, para que caliente las cañerías sin peligro de roturas, hasta abrirla totalmente, cerrando la segunda al terminar la purga y luego cerrando la válvula primera contra la caldera (esta válvula permite reparar la válvula de operación de la purga-que sufre mucho desgaste en el asiento por lo barros-en caso que sufra un deterioro con la caldera en marcha o hasta se pueda "trancar" abierta, además se debe evitar la pérdida, que significa una purga continua no deseada). **Ambas válvulas deben ser de paso casi total** y **adecuadas según las normas para la función** que deben de cumplir (pueden ocurrir graves accidentes al operar las purgas, si las válvulas no son adecuadas, las cañerías correctamente instaladas y afirmadas, así como la operación en forma correcta (calentando el sistema suavemente, abriendo totalmente, pero sin provocar un "shock" o un "golpe de ariete").

A veces se comete el error de instalar las purgas con cañerías muy largas, buscando la "comodidad" del foguista o la supuesta "seguridad", esto no es conveniente, ya que cuando se abren las válvulas de purga, de "pase total", la velocidad del agua en el interior de la cañería acumula mucha "energía cinética" (1/2 mv2, ecuación que dá la cantidad de energía que se desarrolla, que indica que la mitad de la "masa" por la velocidad del agua al cuadrado pasa ser una energía dinámica) como las válvulas de purga se pueden cerrar "rápidamente", al cortarse el flujo de agua, la masa agua que acumuló esta energía desarrolla un presión sobre la válvula y la cañería más próxima a la válvula de un valor que depende de la rapidez que se cierre la válvula "rápida", **lo que desarrolla un altísima presión (llamad "golpe de ariete") que puede "reventar" el cuerpo de la válvula o la cañería** (esta presión se suma a la presión que ya tiene la caldera,menos la pérdida de carga por fricción de la cañería y algo que interviene de la dilatación elástica de la cañería). **Podemos decir, que una purga que trabaja sobre una caldera a 15 Kg/cm2, si tiene una cañería de unos 15 metros, y con un diámetro de 2", puede cuadruplicar la presión.** Esta presión, "golpe de ariete", ocurre muchas veces hoy en día por la presencia de las válvulas "esféricas" (que la mayoría son de pase total y de operación rápida), muchos cuerpos de ablandadores de agua, en que se han instalado estas válvulas, como pueden al cerrarse rápidamente "aumentan la presión interna del ablandador", provocando la fisura del cuerpo del ablandador o hasta su explosión (especialmente cuando son hecho con resinas o plástico). Ejemplo, un ablandador trabajando a una presión de agua de 3 Kg/cm2 al final de una cañería larga, puede llevar esta presión a más de 15 Kg/cm2. Para asimilar este problema de las purgas, podemos imaginar, que el "golpe de ariete" es como

un "martillo golpear contra un yunque" o sea frenar de golpe una masa que se desplaza a alta velocidad, como el choque de un autor contra una pared. Han ocurrido varios accidentes de este tipo de error que he podido constatar en mi larga carrera en el tema.

**Las purgas hay que ponerlas lo más cerca posible de la conexión del cuerpo de la caldera o se corren graves riesgos.**

La válvula de purga de fondo debe soportar :

1-Gran esfuerzo mecánico (presión y erosión)

2-Un gran "shock" o golpe térmico.

3-Pasaje total ( sólidos en suspensión).

4-Con platinas o soldadas en media y alta presión.

5- Conviene que las válvulas estén dobles (mayor seguridad)

6-Las cañerías bien afirmadas a la estructura (y dilatación).

7-Capacidad adecuada a la función.

8-Las válvulas de purga deben estar lo más próximo a la conexión del cuerpo de la caldera para evitar los "golpes de ariete"

La **purga continua** es la encargada de **sacar las sales disueltas** (presenta la ventaja que se puede purgar permanentemente, no afecta la producción, se regula muy fácilmente, etc). Es conveniente que **la purga continua tenga su descarga independiente** (se puede recuperar el calor en un intercambiador), **de manera de poder tener un control visual y además la posibilidad de medir volumetricamente el volumen de agua que se "tira" por minuto.**

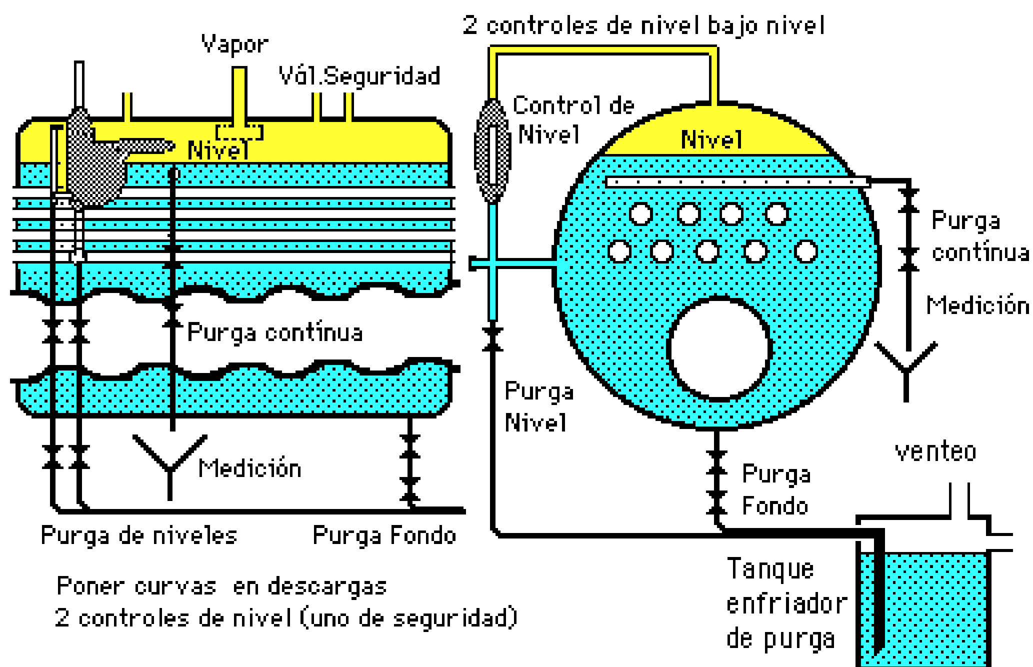
**Pero es muy importante el cálculo del % de purga, ya que esto permite establecer los litros por minuto de la purga continua** (descontando el % que se "tira" por las purgas de nivel-aproximado a 20-40 L por cada nivel- y las purgas de fondo, que varía, pero que se puede establecer que por lo general no pasa de 80-150 L por purga normal de fondo, valor este que se puede calcular, calculando el espejo de agua en dm2 y multiplicando por la bajada de nivel en dm terminada la purga, si la bomba de alimentación no ha prendido, **ejemplo**: una caldera de 2000 Kg/h de vapor humo-tubular con un espejo de agua de 25dm.x12dm.= 300 dm2, el nivel baja 0,2 dm, o sea 2 cm, por lo que el agua "purgada" es 300 dm2 x 0,2 dm= 60 L por purga, como se ve no es tanta el agua que se desaloja).

Conviene que **la purga continua tenga dos válvulas**, **una contra la caldera**, para apertura y cierre total (comienzo y fin de jornada) y **otra válvula** (más exterior) **para regular el caudal de agua a purgar** (conviniendo que esta válvula tenga una asiento apropiado, duro, como ser de cromo-niquel, con un cierre tipo "aguja" o similar, que regule un pequeño caudal, que por lo general varía entre 0,3 L/m a 30 L/m).

La purga continua se deberá regular de acuerdo a las lecturas del PH, T.S.D. u otro límite máximo establecido. Veamos el cálculo en distintas circunstancias.

**Cuando se hay un exceso de purga indeseable e incontrolable**, se debe buscar la falla a pérdidas de agua por las válvulas de purgas (ver si la cañería está caliente, a 1 metro

aprox. de la última válvula, de ser así, es evidente que se está perdiendo agua). **Cuando hay falta de purga, es evidente que por alguna razón se está reponiendo más agua con sales de lo normal** (aquí el problema se puede deber a : pérdida de condensado que se recuperaba, a un cambio de la calidad del agua, como ser la introducción de agua de pozo en lugar de agua de superficie, generalmente OSE, etc.), **pero también puede ser que por alguna razón la caudal de purga de fondo o continua es menor**, que el que se estaba haciendo, debido a una oclusión (en el caso de la purga continua, la medida del volumen del agua por minuto es muy importante, en la válvula de fondo hay que observar lo que baja el nivel visual de agua, ya que la purga hace "mucho ruido" por el "flash", pero su volumen puede haber disminuido por oclusión.




## Cálculo del % de purga :

Dado que el agua que se repone en una caldera contiene una cantidad de sales y además se agregan otras (tratamiento químico), es importante establecer un régimen de purgas para sacar el exceso de sales acumulados en el agua de caldera (límite que se fijará por el total de sales de disueltas máximas admisible o por algunos de los factores limitantes: PH, alcalinidades, cloruros, sílice, etc.). Purgando la misma: tanto en purgas de fondos (que sacan barros y sales disueltas) como en las purgas continuas (que se utilizan para mantener el límite máximo de las sales disueltas).

El % de purga se puede calcular o medir, basándose en el agua de reposición de acuerdo a diferentes maneras :

1- **Considerando los cloruros** (ion cloruro). Como los cloruros en el agua son difícilmente precipitables, midiendo los cloruros en el agua de reposición y en el agua de caldera, podemos establecer:

Cl a.c. (cloruros agua caldera), Cl a.r. (cloruros agua de reposición). Medimos en p.p.m. como ion cloruro (Cl-).

**Cl a.c.÷ Cl a.r. = ciclos de concentración**

Ciclos de concentración es igual a las veces que hemos concentrado el agua de reposición (Ejemplo: si evaporamos 1 Ltr. de agua hasta medio 1/2 Ltr., todas las sales serán el doble de concentración, es decir si los cloruros eran 20 p.p.m. pasarán a ser 40

p.p.m. En este caso 40÷20=2 C.c. En la caldera la cantidad total de agua es la misma, pero las sales se van concentrando a medida que el agua que entra se evapora.

El **% de purga sobre agua de reposición** será :

**(1÷ ciclos de concentración ) x 100 = % Purga** agua rep.

**Ejemplo**: agua de caldera con cloruros en Cl a.c. = 200 p.p.m. y el agua de reposición de O.S.E. en Cl a.r.= 20 p.p.m., tendremos 200÷20= 10 ciclos de concentración y el % de purga sobre agua de reposición es (1÷10 ) x 100= 10 % de purga. Significa que el 10% del agua que debemos reponer es sacada por las purgas o por las pérdidas en las válvulas de purgas (como agua de caldera).

Este método mide la cantidad de purga, pero no lo establece.

2- Si quisiéramos establecer el % de purgas (aprox.) haríamos el siguiente cálculo:

Máxima de total de sales disueltas en la caldera (**Max. T.S.D.**).....ppm.

Total de sales disueltas en el agua de reposición (**Rep. T.S. D**.).....ppm.

Total de tratamiento por M3 de agua de reposición ( **g/m3**) de sales.

**ciclos de concentración= Max. T.S.D.÷ (Rep. T.S.D. + g/m3)**

La inversa de los ciclos de concentración por 100 dará el % de purga sobre agua de reposición en forma aproximada (ya que hay sales que tenderán a descomponerse).

**Ejemplo :** Límite máximo de total de sales disueltas en la caldera de 10 Kg/cm2 de presión : Max.T.S.D. = 3000 ppm, el agua de O.S.E. ablandada igual Rep.T.S.D.=240 ppm, se agregan por cada metro cúbico de agua 150 gramos/m3 de productos químicos (polifosfatos , sulfitos, etc.).

Ciclos de concentración Aprox.= 3000 ÷ (240 +150)= 7,7 ciclos

% de purga = (1÷7,7) x 100 = 13% Aprox.

Significa que debemos de "tirar" por las purgas el 13% aprox. del agua ablandada que reponemos. Es decir que si la caldera consume 2000 Ltrs. hora de agua de O.S.E. ablandada, debemos de purgar 2000 x 13÷100 = 260 Litros por hora.

Como por las purgas de fondo y las purgas de nivel el agua que se "tira" es relativamente poca , debemos de utilizar la purga continua, porque :

1 purga de fondo "tira" unos 50 a 100 Ltrs. por vez

1 purga de nivel (2 niveles ) 20 a 40 Ltrs. por vez

Si la caldera es purgada 3 veces por turno (8 horas), significa tomando los valores más altos (100 + 40) x 3 = 420 Ltrs. pero como debemos de purgar por turno: 260 Ltrs/hora x 8 = 2080 Ltrs.

Estableciendo la diferencia 2080-420=1660 Ltrs. que faltan purgar.

O hacemos muchas purgas de fondos (que no es práctico y el calor no se puede recuperar) o establecemos una purga continua (de superficie) , que "tirará" por minuto: 1660 /(8 x 60) = 3,4 Ltrs./ minuto . (lo podemos medir con una jarra si recuperamos el calor, después de enfriar no habrá vapor de flash).

**Cálculo del consumo de agua de alimentación :**

1 er. caso, sin condensado de retorno.

Dado una caldera a F.Oíl pesado que consume por día 500 Ltrs. de F.Oíl en 10 horas de trabajo. La presión es de 10 Kg./cm2 de vapor saturado y el agua de alimentación a 20ºC es sin retorno de condensado (O.S.E. Montevideo, ablandada, con 240 ppm como T.S.D. y con un tratamiento de 150 g/m3, ejemplo anterior).

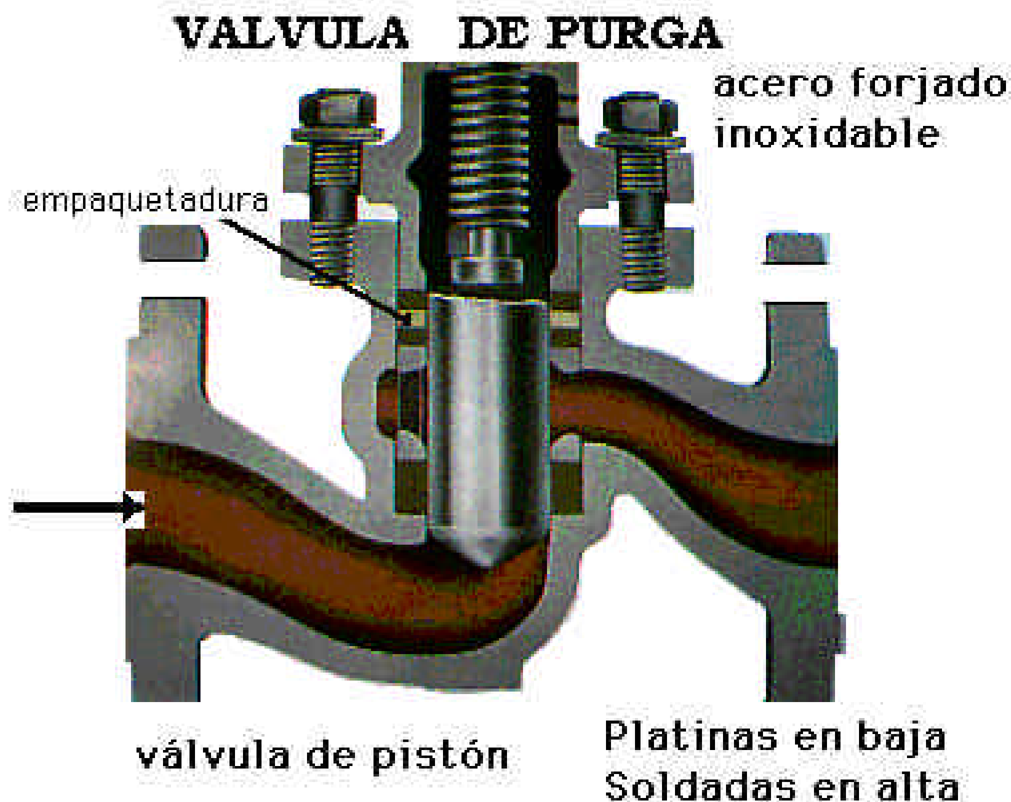
La caldera funciona al 50% de su capacidad nominal, se estima que su Eficiencia al P.C.I. sin purga (retorno condensado 100%, no real) sea de **82%** y luego con purga y sin nada de condensado de retorno del **79%**. Calculemos, sacando los valores de las tablas anteriores en forma aprox.:

**1-Sin purga** (100% de condensado de retorno, un caso ideal)
Calor para vaporizar 1 Kg. de agua (664 - 20) = 644 Kcal./Kg. vapor.
Calor aprovechable por Kg. de F.Oíl 9700 x **82** ÷ 100= 7.954 Kcal./Kg.
Kg. de vapor por Kg. de F.Oíl sin purgas 7.954÷ 644=12.35 Kg/Kg.
Siempre se debe de purgar por "seguridad" (niveles, fondo, etc.).
Como el F.Oíl pesa menos que el agua, 1 Ltr. de F.Oíl lo consideramos 0,960 Kg.
Por lo que 500 Ltrs. de F.Oíl serán 500 x 0,960 = 480 Kg. en 10 horas
Kg. de vapor por hora 480 x 12,35 ÷ 10 = 593 Kg. /h de vapor.
Sin purga, deberíamos alimentar 593 Ltrs. de agua reposición por hora.

**2-Sin condensado de retorno** (un caso real):
La purga será : C.c. =3000 ÷ (240+150) = 7,7 Ciclos lo cual dará un % de purga del orden de = (1÷7,7) x 100 = 13% Aprox. Esto significa que debemos de purgar unos 1 x 13 ÷100 = 0 , 130 Ltrs. por cada Ltr. de agua alimentación aprox..
Para calcular el agua evaporada usamos=(9700 x **79**)÷(644x100)=11,9 Kg./Kg de F.Oíl.
El Agua de alimentación(Agua Alim.)=vapor+purgas= vapor+ Agua Alim.x 1÷C.c.
Agua de alimentación (Agua Alim.)= vapor÷(1-1/C.c.)=13.67 Ltrs. por Kg. de F. Oíl.
Como tiramos agua caliente a la temperatura del vapor, este calor debemos de restarlo del suministrado por el combustible: 0,130 x (185-20) x 13.67 =293 Kcal/Kg. F.Oíl. Recalculando la cantidad de combustible perdido por purga necesaria al no tener condensado: 480 x 293 ÷ 9700 ÷**79** x 100 = 18.35 Kg.F.Oíl desperdiciado por purgas en 500 Ltrs. de F.Oíl utilizado.

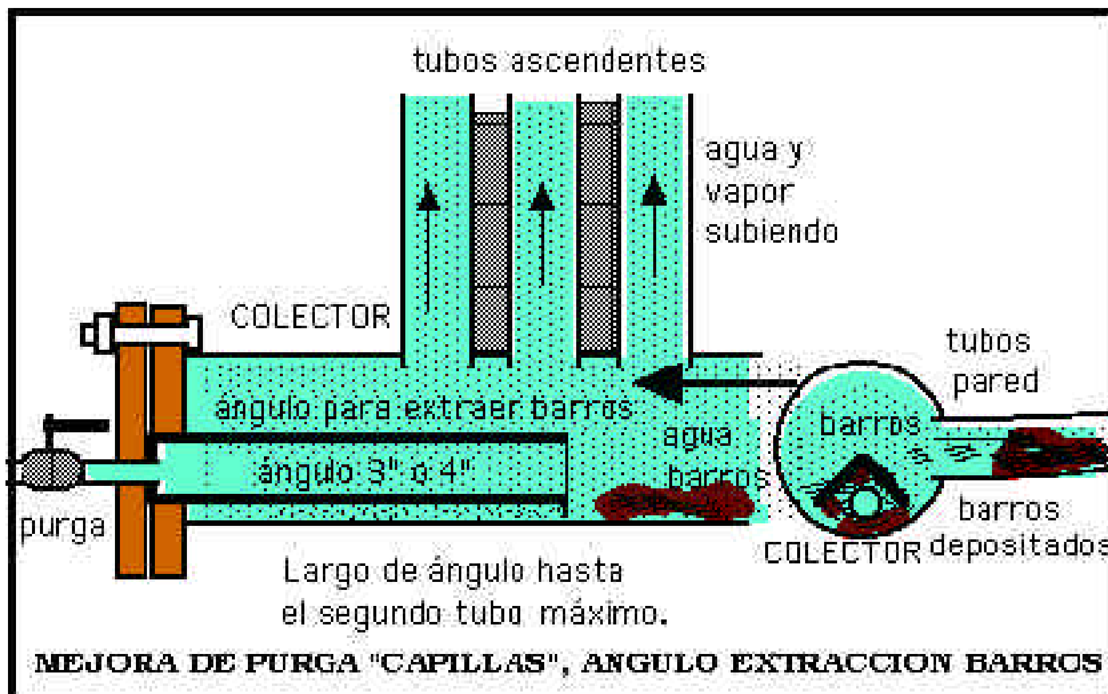
Kg. de vapor por hora (promedio) :11.9kg x 480Kg ÷ 10h = 571,2 Kg.vapor hora .
**A medida que aumenta el retorno de condensado**, disminuye la reposición de agua y aumenta la producción de vapor por Kg. de combustible. La alimentación por hora **sin retorno de condensado** será 13.67x480÷10= 656 Ltrs. de agua por hora (aprox.).
El total de agua a purgar s/c en 10 horas será (13,67-11,9)x480= **849,6 Ltrs.**
Cuando hay % de condensado de retorno: Agua Alimen.=Vaporx % Cond + Reposición
Agua Alimentación= Vapor x % Condensado ÷ 100 x [1 +1÷(1-1÷ C.c.)]
**50% de condensado**,con valores anteriores de sales y la eficiencia **79.5**% P.C.I
Agua evaporada = 9700 x 79,5 ÷ 644 ÷100 = 11,97 Kg/Kg. de F.Oíl
Agua de Aliment. = 11,97 x 50 ÷ 100 x [1 + 1 ÷ (1 - 1÷7,7)]= 12,86 Ltrs./Kg.F.Oíl
Total de agua a purgar en 10 horas (12,86-11,97) x 480 = **427,2 Ltrs**.

**Como se nota: a mayor recuperación de condensado menor purga, mayor rendimiento (Eficiencia).**




**PURGAS DE "CAPILLAS" (COLECTORES)**

Las "capillas", tanto los hogares acuo-tubulares de combustión en calderas de "quema directa", como las "capillas traseras" acuo-tubulares de los "fondos semi-húmedos", cuando no se tiene un tratamiento químico "externo" que ablande el agua (ablandador de agua, ósmosis inverso o ablandamiento por precipitación química), o sea que elimine las sales de calcio y magnesio o las transforme en sales de sodio, los tratamientos químicos "internos" lo que hacen es provocar la precipitación de las sales incrustantes como "barros extraibles" por las purgas.




MEJORA DE PURGA "CAPILLAS", ANGULO EXTRACCION BARROS

Cuando se forma barro en el interior de la caldera, las purgas de fondo y de los colectores, deben ser capaces de extraer estos barros, por lo que hay que instalar purgas en los lugares "estratégicos", tanto en los fondos de las envueltas como en los colectores. Cuando hay "capillas", si estas no tienen purga, los barros se estacionan en los tubos laterales y en lo propios colectores, aún con purgas, si estas no son de suficiente diámetro y no tienen un **ángulos** (de 3" a 4", punteado sobre la brida, dejando una luz de 10 mm. de la parte inferior del colector) que provoca una "succión" de la parte inferior del colector (por lo general este modelo de calderas no traen este ángulo, pero es conveniente ponerlo, lo mismo si se dá el caso que tampoco no tengan purgas). Las purgas de los colectores **siempre hay que hacerlas con la combustión al mínimo o apagada** (purgar una vez por turno si hay formación de barros).

## 20-LIMPIEZAS QUÍMICAS EN CALDERAS

Siendo las limpiezas químicas un capítulo muy importante en el tema de mantenimiento de las calderas, no solo por lograr hacer una buena limpieza, sino porque la misma si no se hace correctamente afecta al metal de la caldera y hay consideraciones de riesgo.

**Una limpieza química de caldera debe hacerse con el conocimiento suficiente sobre que elementos químicos a utilizar, que procedimientos son los más adecuados y tener en cuenta el tema de la seguridad de la caldera y más que nada el tema de la seguridad de los operadores que harán la limpieza química.**

Por lo general, se puede hacer dos tipos de limpiezas químicas en las calderas incrustadas (si esta caldera no ha sido tratada químicamente o el tratamiento químico es de dudosa efectividad) es una que exige 3 etapas : **una etapa alcalina, una etapa ácida y una etapa de neutralización y pasivación**. La primera etapa alcalina cumple la función de preparar las superficies incrustadas para que sean penetradas por el ácido a utilizar, generalmente esta etapa es un hervido con "soda" (y un anti-fragilizante), cuyo valor de

soda libre es del 2% al 4% aprox., con la presión de vapor al 75% durante unas 24 horas, purgando y sin usar el vapor. La otra limpieza química que se puede encarar, es cuando la caldera está incrustada, pero su tratamiento químico, si bien era el adecuado, era insuficiente en algunos momentos, lo que permitió incrustar la caldera con agua dura que entró por distintas razones (generalmente estas incrustaciones son de carbonatos de calcio o magnesio), en este caso se descarta la primera etapa alcalina y se entra directamente a la etapa ácida.

El ácido más utilizado para hacer limpiezas químicas por lo general es el **ácido clorhídrico (HCl),** dado su fácil manejo y su gran poder de combinación con las incrustaciones de carbonatos fundamentalmente. **NO SE PUEDE USAR ACIDO CLORHÍDRICO EN LAS PARTES DE LA CALDERA QUE TENGAN ACEROS AL CROMO-NIQUEL** (por lo general sobrecalentadores de altas temperaturas)**.**

Lo que hay que tener claro son varias cosas, el ácido, cualquiera sea, ataca al metal de hierro sino se usa un "**inhibidor de ácido**" (por ej. Rodine 60® u otro), antiguamente se usaba el Formol. La segunda cosa que hay que tener en cuenta, es que el ácido trabaja mejor en cierta temperatura (frío casi no ataca a las incrustaciones), por lo que por lo general a unos **60ºC-80ºC**. **La tercer consideración es el tiempo de reacción en el interior de la caldera** y su concentración de ácido puro al comenzar a poner el ácido en forma teórica y la que debe tener al finalizar de poner el ácido, y la concentración final para dar por **terminada la operación ácida (que nunca debería pasar de 12 horas)**. La otra consideración es que **no se debe prender el quemador bajo ningún concepto en esta etapa ácida**. **Y muy importante: cuando el ácido ataca el metal de hierro produce hidrógeno (H2) gaseoso, <u>un gas muy explosivo</u>, por lo que hay que considerar de poner un buen venteo de estos gases en la parte superior de la caldera** (como ser una conexión de una válvula de seguridad a la chimenea con un caño de buen diámetro)**.**

**En cuanto la seguridad, en todas las etapas debe manejarse los productos químicos con los elementos de seguridad: lentes, máscaras para ácido, guantes, delantales y botas de goma. Conviene disponer un ventilador que remueva fuertemente el aire en la zona de trabajo de la operación de limpieza química e incluyendo una manguera con agua corriente para proceder al "lavado" de cualquier derrame de productos químicos, tanto en los pisos como sobre la caldera o los propios operadores (además de tener baldes con agua limpia para lavar cualquier parte del cuerpo que haya entrado en contacto con el ácido en forma inmediata).**

**También debe considerarse que en cada etapa deben descargarse los productos químicos, previamente neutralizados a las descargas del agua de saneamiento o tratamiento de la planta industrial.** Como la primera etapa es alcalina (se tirará un agua con un PH alto), mientras que la segunda etapa ácida, si bien el ácido se consume, generalmente se tira todavía con cierta concentración como ácido puro (próximo al 1% si se ha calculado bien, recomendando que **la limpieza ácida debería hacerse en unas 12 horas y no más**, ya que si se hace por más tiempo, se ataca el metal en forma microscópica, provocando que el metal parezca una "piedra pómez" (cuyos orificios a simple vista no se ven, pero en una prueba hidráulica provocará una "sudación" de los tubos al ser sometidos a la presión del agua de la prueba un tiempo prudencial. La neutralización de los efluentes de la etapa ácida se deberá hacer fuera de la caldera (en un tanque o depósito de la fosa de purga) utilizando para ello el agua alcalina de la primer a etapa si se hizo o utilizando soda líquida o "cal viva" (previamente disuelta).

**La tercera etapa: una etapa de neutralización y pasivación, debe hacerse parecida a la primera etapa alcalina, levantando la presión al 75% de la presión de trabajo** (24 horas, purgando cada hora) **, pero se debe usar un "pasivante" que provoque la oxidación de las superficies, para volver a formar la capa de "óxido magnético" que es lo que protege a la superficie de los tubos y permite que un tubo de "hierro desnudo" dure tantos años** (en algunas calderas hemos superado largamente

los 30 años y mucho más, tal que los tubos se "gastan" primero del lado de los gases de combustión).

**En la etapa ácida, se parte por lo general que habrá la necesidad teórica de poner un 5% de ácido Clorhídrico puro (un 15% de ácido comercial al 30%-34% de HCl) y el inhibidor por lo general es del 1% al 5% del ácido comercial** (dependiendo del inhibidor de ácido a utilizar). **El ácido clorhídrico (HCl) es un gas disuelto en el agua, por lo que a una temperatura alta tenderá a desprenderse del agua que lo disuelve (de allí la importancia de los venteos, ventiladores y máscaras a utilizar).**

La preparación del sistema, caldera y accesorios, es fundamental, ya que se puede hacer muy toscamente en forma manual (poner ácido de terrinas por la entrada de hombre) o más correctamente (por seguridad) por medio de bombas de ácido o simples bombas de circulación (que no sean de inoxidable) que toman agua de la misma caldera y descargan en otra zona de la caldera, con una conexión a la succión que permite la succión del ácido directamente de los recipientes de ácido.

Veamos un esquema:

La bomba circuladora, en realidad es más que para introducir el ácido en forma segura y simple, no es necesario que permanezca funcionando las 12 horas de la limpieza ácida, ya que en realidad lo que hace circular y agitar el ácido en el interior de la caldera son la "burbujas" ($CO_2$) que se desprenden del ataque del ácido a las incrustaciones de carbonatos.

Como dijimos se parte de una temperatura en el agua entre 60ºC y 80ºC, no prendiéndose el quemador con el ácido en el interior de la caldera.

Si bien la cantidad de ácido mínimo necesario es del 15% de ácido clorhídrico comercial, debemos de considerar que si la caldera está muy incrustada, debemos tener ácido extra para seguir poniendo en el caso que al final de poner el ácido en 1 a 2 horas aprox. lleguemos con la concentración del ácido al 4% de ácido puro.

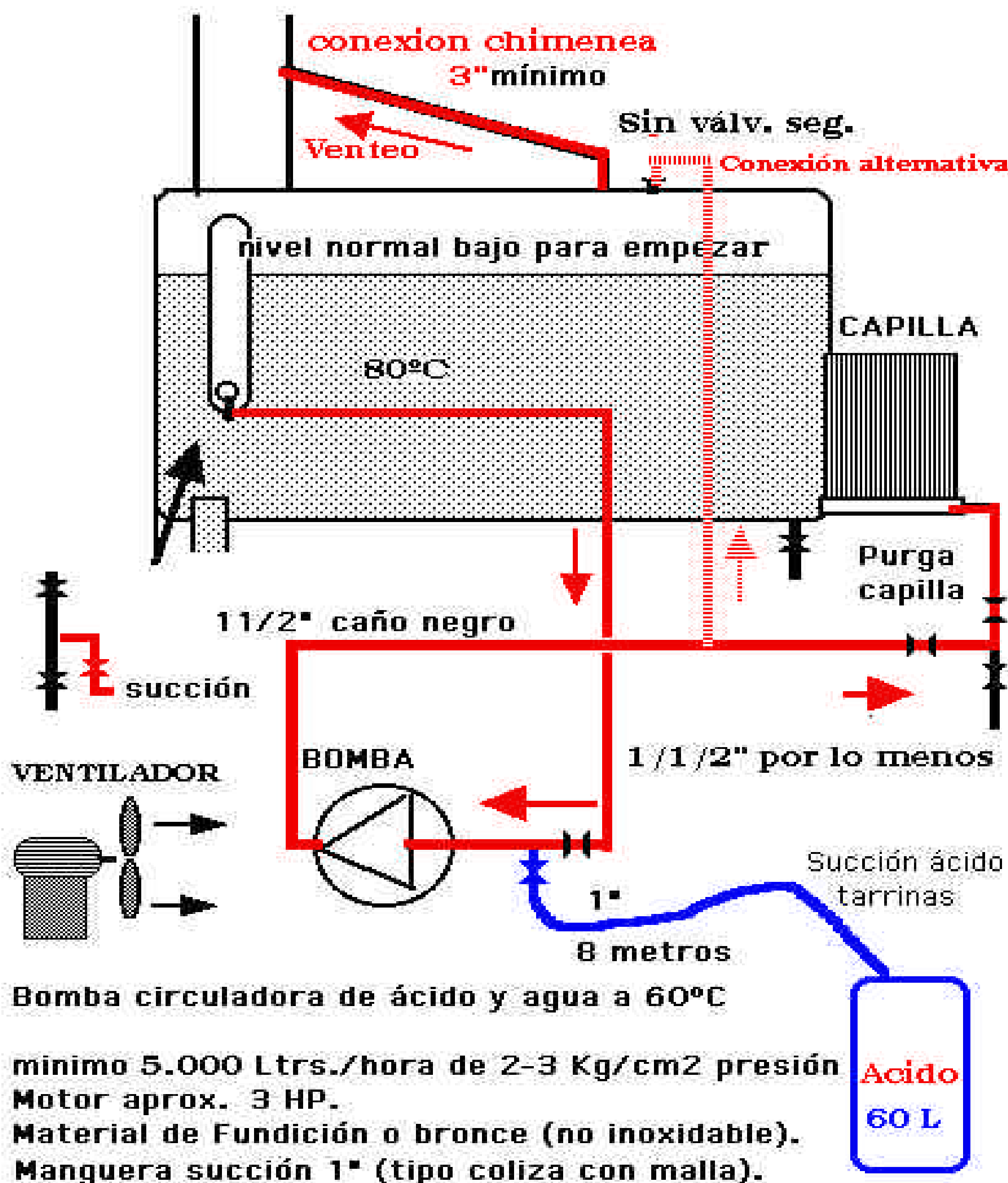
Para medir la concentración del ácido, utilizamos como indicador de PH el Anaranjado de Metilo (PH 4,3 aprox.) y "titulando" con soda calibrada a un valor adecuado a la cantidad de muestra para que dé el valor en % de ácido Clorhídrico puro (N/1.33 de hidróxido de sodio, da directamente por cada cm3. consumido de soda el 1% de ácido como HCl para virar el Anaranjado de Metilo en % de ácido puro cuando la muestra a analizar es de unos 5 cm3., por ejemplo: en la muestra de 5 cm3 de agua de caldera diluida a 50 cm3 con agua destilada, pongo unas gotas de Anaranjado de Metilo, da un color oscuro casi rojizo, al poner gota a gota agitando en un Herlenmeyer con la soda N/1,33 hasta el viraje a un color casi claro, los cm3. de soda N/1,33 da directamente el % de HCl).

**La finalización de esta etapa ácida, se observa a las 9 horas aprox. la agitación del agua de caldera** (la formación de burbujas de $CO_2$, anhídrido carbónico) **que si la el agua no se agita, significa que la acción del ácido sobre las incrustaciones está en su fase final, se mide la concentración de ácido cada 1/2 hora y cuando dá la misma concentración en una diferencia de tiempo de 1/2 hora, se dá por finalizada esta etapa ácida. Por lo general si se calculó bien la cantidad de ácido, el final de la operación el ácido está en 1% o menos como ácido puro. Hay que tratar de terminar la operación en menos de 12 horas, ya que si se sigue la operación ácida con más tiempo, se provoca daño al metal de la caldera.**

**Para tirar el ácido, recordar de neutralizar (soda, cal viva).**

**El peligro de esta etapa es que en la parte final de la operación, si no hay un buen venteo de la caldera, se pueden acumular gas hidrógeno de la reacción del ácido con el metal de la caldera, siendo este gas muy explosivo a bajas concentraciones** (mientras hay mucha actividad con formación de $CO_2$ el peligro es menor dado que se diluye con el $CO_2$). **Por eso la importancia de conectar una descarga de los gases desde una válvula de seguridad a la chimenea** (que hará un buen tiro para ventear los gases a la atmósfera).

**Cuando se comienza a poner el ácido en los primeros momentos, puede ocurrir que hayan reacciones muy violentas del ácido con las incrustaciones, lo que provoca un "levantamiento" por burbujas del nivel del agua de la caldera, a veces tan violento que puede salir expedido por las aberturas de la caldera, mojando a la gente y equipos . Por eso hay que ir poniendo el ácido despacio y con cuidado de que el nivel no suba demasiado** (por eso se parte con el nivel del agua de la caldera en el nivel más bajo, pero que los tubos permanezcan inundados).



Una vez finalizada la etapa ácida, hay que manguerear el interior de la caldera por la entrada de hombre o llenar y vaciar la caldera unas 2 veces, con el fin de sacar el ácido residual sobre las paredes, pero fundamentalmente para sacar muchos depósitos que el ácido ha desprendido pero no ha disuelto**. Hay que hacer esta etapa lo más rápido posible para evitar una oxidación en presencia de ácido, lo que puede provocar corrosiones importantes** (por ejemplo si se deja varias horas la caldera vacía del ácido en contacto con la atmósfera).

**Inmediatamente hay que hacer la etapa de neutralización y pasivación** (usando soda al 2% al 4% para neutralizar y elementos pasivantes como los nitritos, boratos, etc. ). **Los elementos pasivantes cumplen de formar una nueva capa** (muy fina) **de óxido magnético protector de las superficies de metal de hierro.**

**Luego del hervido de "neutralización y pasivado" se deberá proceder a una cuidadosa limpieza mecánica del interior de la caldera** (un buen manguereado con una manguera con gran volumen de agua y presión, como las mangueras de incendio. Sacando todas la tapas y tapillas, arrastrando las incrustaciones y barros caídos en la parte baja de la caldera (utilizando elementos mecánicos por una tapilla adecuada sobre la placa, generalmente la que sirve para sacar los tubos en un cambio de tubos, se fabrica como un "rastrillo" de chapa soldada a un caño o varilla, arrastrando hacia la tapilla y cuidando de no tapar el agujero de la purga de fondo),

**Una vez inspeccionada la caldera**, se llena con agua tratada y productos químicos del tratamiento, se hace una prueba hidráulica de estanqueidad, si está todo bien, se pone en marcha y se reaprietan las tapas y tapillas (que ceden con la presión interna de trabajo y el calor), operación que la debe hacer alguien con experiencia para no producir una pérdida de la tapa o tapilla que pueda poner en peligro al operador.

**La seguridad de la limpieza químicas deben contemplar, no solo a los operarios afectados a la misma, sino a todo el personal que pueda estar en la zona** (hay gases muy irritantes que sino se diluyen y se ventean adecuadamente, estos gases contienen el ácido clorhídrico como gas, ya que en realidad el ácido clorhídrico es un gas disuelto en agua, en su máximo comercial es de un 34% de ácido en el agua)**.**

**Si bien el ácido clorhídrico no es muy agresivo con la personas** (en estado líquido, o sea disuelto el gas clorhídrico en agua), **se deben tener material de protección, especialmente respiradores que absorban el ácido** (afecta mucho las vías respiratorias por ser un gas muy irritante), **lo mismo los ojos deben protegerse con lentes adecuados.** Conviene tener una manguera corriendo agua en la operación ácida y un balde con agua limpia, para lavarse inmediatamente que una persona sea afectada por el ácido. Siendo una parte muy sensible (ojos), si bien lavarse con agua limpia en forma inmediata, puede quedar irritaciones en la que se deberá ver un oftalmólogo. En el caso de afectar las vías respiratorias, hay que salir a lugares que haya aire sin contaminar, en caso que sea una irritación de baja intensidad, siendo necesaria la atención médica cuando la irritación es causa mayor (especialmente en personas sensibles, como los asmáticos, que aconsejamos que no hagan este tipo de tareas).

**Es de cuidar el uso de soda cáustica** (hidróxido de sodio en escamas o perlas)**, ya que puede atacar la piel y los ojos en forma muy rápida, lavarse inmediatamente con agua y recurrir a ayuda médica. Lo mejor es usar soda ya diluida al 50%** (soda líquida) **o ceniza de soda, que son menos agresivas.** El poner soda cáustica en el agua, también se desprenden vapores muy cáusticos que afectan las vías respiratorias, por lo que se debe hacer es poner la soda en el agua (y no el agua en la soda), en un lugar que corra el aire (ventilador) y con la protección adecuada (lentes, máscaras, guantes, etc.)**.**

**Si Ud. no tiene experiencia en estos procedimientos, es aconsejable que no lo haga sin ayuda profesional** (que tenga conocimientos sobre el tema)**.**

## 21-MANDRILADOS DE TUBOS

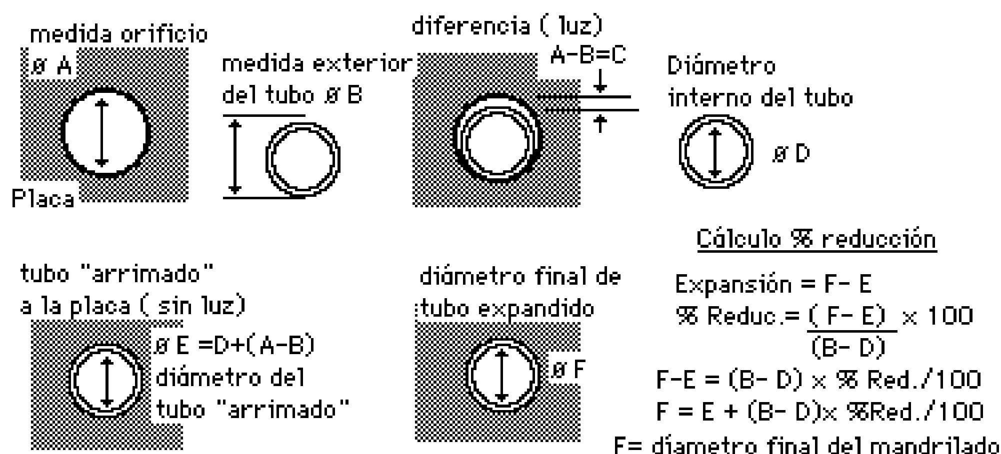
Cálculo del % de reducción (aplastamiento) del tubo sobre el orificio de la placa a partir del espesor de la pared del tubo (el tubo debe de tener la medida adecuada al orificio de la placa). Dado que se puede preveer un % de reducción de acuerdo al material que se está mandrilando, es decir, podemos establecer la **medida final del diámetro** interno del tubo ya mandrilado a la placa (recuerde que un exceso de mandrilado o "aplastamiento" es inconveniente, es preferible quedar con falta de expansión y si es necesario "retocar" sin pasarse -un tubo excesivamente mandrilado solo puede ser cambiado o poner un "collarín" de soporte de menor diámetro que en algunos casos no es prudente hacerlo, ya que puede cortar la circulación de agua si es acuotubular o quemarse si es humo-tubular).

**% de reducción admisible o recomendable:**

Cobre y Cupro-níquel....................................................8-10% de reducción.
Acero, Acero al carbono y Cobre Almirantazgo.............. 7-8% de reducción.
Acero inoxidable y Titanio............................................4-5% de reducción.

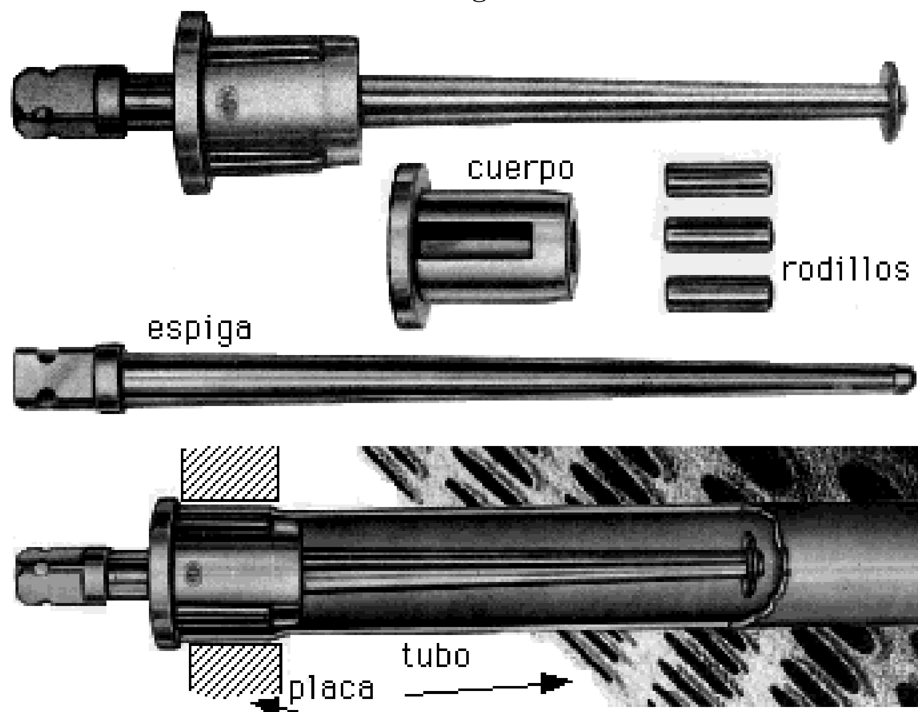
Este % de reducción significa que cuando el tubo se pone sobre la placa (ambos ya preparados para mandrilar: limpieza, recocido del tubo -si es necesario y en la placa: orificio perfecto y limpio, etc.), debemos de "arrimar" el tubo a la placa con el mandril hasta que la luz desaparezca (se "besen"), a partir de este momento todo avance que haga el mandril será el "aplastamiento" del tubo sobre la placa (provocando el afirmado del tubo) y la reducción del tubo en esta última operación pasa a ser el % de reducción que debemos respectar, ya que un tubo "excesivamente" mandrilado (% de reducción superior al recomendado) en vez de quedar más firme, quedará en realidad más débil. Cada material llevará el mandril adecuado.

Para calcular la medida final del diámetro interno en que deberá quedar el tubo al terminar de mandrilar, siga las instrucciones siguientes cuidadosamente:




Si se dispone de una forma de medir la "fuerza" necesaria para llegar a dicha medida en la "espiga" del mandril (medida del "torque"), la efectuamos unas veces hasta que podamos tener la seguridad de poder repetir el mandrilado con esa "fuerza" máxima, estaremos en condiciones de mandrilar los tubos siguientes guiándonos con ese límite (hay equipos especiales para ello, con medición del "torque" o límite prefijado automático de "torque", con motores eléctricos o motores neumáticos). Es importante mantener los mandriles limpios y lubricados con una grasa de alta presión (generalmente con molibdeno). Preste atención a la terminación del tubo sobre la placa: si es pestañeado, acampanado, recto, al ras o soldado, ya que el tubo sirve de sostén mecánico de la placa, el acampanado tiene un doble propósito en algunos casos, tanto de sostén como de guía para la circulación de agua. Del lado de gases su prolongación excesiva o sin pestañar ("recalcar") en las calderas

humo-tubulares del lado más caliente podrá ser contraproducente debido a las altas temperaturas que podrán quemar al tubo o permitir su aflojamiento sobre la placa (al calentarse la parte mandrilada por exceso de superficie). Además la terminación superficial del extremo del tubo si no es adecuadamente terminada, será el principio de una futura posibilidad de provocar una fisura longitudinal del tubo, lo cual la terminación debe ser "suave", sin aristas, fisuras u otras irregularidades.



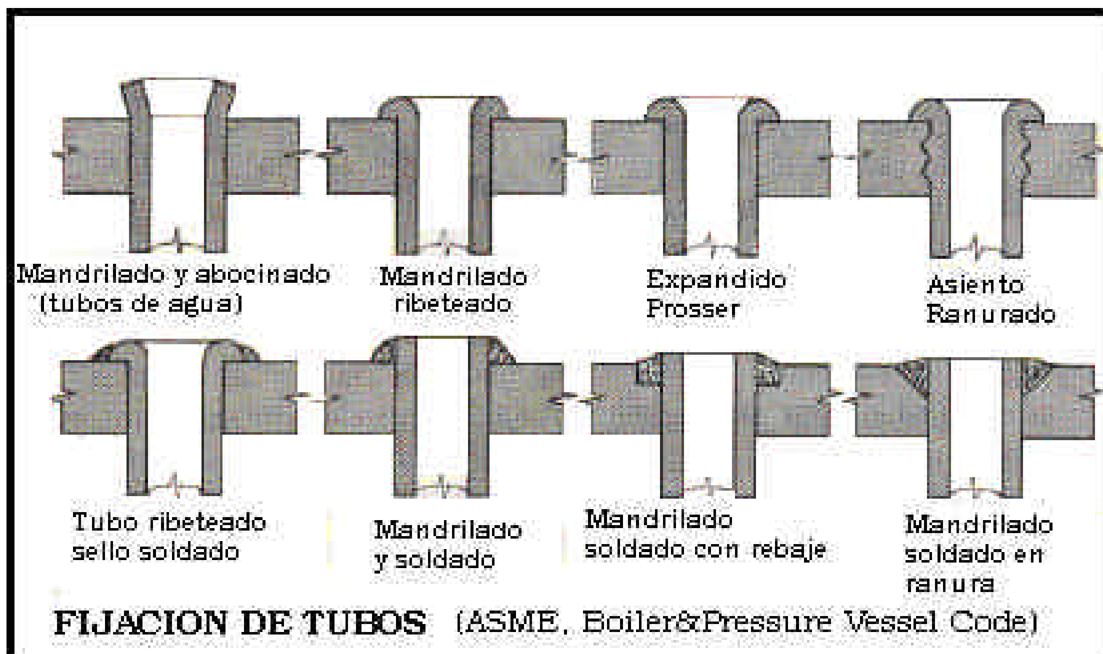

**EXPANDIDOR DE TUBOS DE 3 RODILLOS (MANDRIL)**

El orificio de la placa deberá estar pulido y lo suficientemente "redondo", si la deformación no es grande, se podrá "repasar" con un mandril para lograr su redondez en forma "forzada". Los mandriles de 3 rodillos trabajan mejor en aquellos lugares que lo agujeros de las placas no están perfectos, aconsejándose el mandril de 5 rodillos en aquellas placas perfectas y con materiales de mayor dureza.

Si no tiene experiencia en mandrilar tubos, prepare un "trozo" plancha de hierro de igual espesor que la placa, haga varios agujeros de la misma medida que la placa y practique el mandrilado hasta que logre que le salga de acuerdo a las instrucciones y que su aspecto sea el equivalente al que tiene la caldera a mandrilar.

Es aconsejable que un trabajo de esta envergadura sea hecha por una empresa dedicada al ramo (con solvencia técnica).

Hay otras formas de controlar la cantidad de mandrilado del tubo sobre la placa, una de ellas la utilización de un comparador de "reloj", que se afirma sobre el tubo a mandrilar y apoyado su "punto" sobre la placa, la expansión se mide por el corrimiento del "reloj" al "estirarse" el tubo al quedar afirmado por el mandrilado (previo de medir en los primeros tubos por la deformación diametral indicada al principio).




**Hoy en día, prácticamente casi todas las calderas humo-tubulares, los tubos irán mandrilados y soldados a la placa.** Los tubos irán soldados para **lograr un buen sello**, **pero habrá una serie de tubos que irán soldados con mayor profundidad de la soldadura, ya que esos tubos serán los tubos "stays" o de soporte entre placas** (o sea que soportan la fuerza que hace la presión sobre la placas que son planas). Aunque los tubos serán soldados, **previamente deben ser mandrilados** y **luego de soldarlos, nuevamente se mandrilan** para "**aflojar" las tensiones** que se generan con la soldadura y "reapretar" el mandrilado que se ha aflojado al soldar (el tubo que ha tomado cierta temperatura), ya que **el mandrilado es el que hace de "anclaje" del tubo sobre la placa** y **la soldadura hace de sello** y en los tubos "stays", la soldadura, también hace de anclaje (si los tubos no fueran mandrilados, lo más probable que haya problemas con el tiempo, desde pérdidas en las soldaduras por insuficiente "anclaje" o corrosión en el insterticio entre la placa y el tubo). Estas soldaduras hay que hacer muy "prolijas" y con el electrodo adecuado (ya que se puede llegar a estropear la placa o haber problemas de de fisuras o corrosión), **volviendo a recordar que a la entrada de gases de la placa más caliente** (que los gases por lo general entran luego de abandonar el hogar de combustión, tiene una temperatura de casi más de 900ºC, lo que provoca una elevación de la temperatura del metal, **si este no está correctamente refrigerado** por el agua del interior de la caldera) **no deben sobresalir los tubos fuera de la placa hacia los gases más que un valor estipulado, por lo general, de unos 3 mm. como máximo, ni haber "gorrones " de soldadura que se recalienten, o fisuras en el tubo o la soldadura** (ya que todo esto hará que el material sufra una corrosión por alta temperatura, fisurándose la placa o el tubo o llegando a "aflojar" el tubo sobre la placa, prácticamente, arrancando la soldadura de sello y el efecto del mandrilado, debido a la plasticidad del metal por la alta temperatura). **Antes, con los tubos mandrilados solamente, estos tubos a la entrada de gases eran "pestañados" o sea la prolongación o extremo del tubo recalcada prolijamente sobre la placa, de manera que no quede tubo, sin refrigerar , expuesto a los gases calientes**).

**22-EXTRACCIÓN DE TUBOS DE CALDERAS PARA SU RECAMBIO**

Cuando se hace un recambio de tubos en calderas humo tubulares y acuotobulares, uno de los procedimientos más delicados es la extracción de los tubos mandrilados y ribeteados a las placas o mandrilados y soldados a la placa.

Esto lleva a varios métodos de corte de los tubos sobre los mandrilados a los efectos de sacar los "casquillos de los tubos mandrilados o soldados, **sin dañar la placa, ya que el asiento del tubo sobre el agujero de la placa no debe quedar dañado bajo ningún concepto, porque al mandrilar nuevamente los tubos, este daño podrá producir una pérdida o el comienzo de una fisura en la placa. Recordar que los tubos no solo se mandrilan o se sueldan para no perder "la estanqueidad", sino que su función también es producir el soporte el esfuerzo de la presión interna de la caldera sobre las placas, no siendo menor el tema de las dilataciones y contracciones** (que muchas veces supera el esfuerzo de presión).

Hay varios métodos de cortar el tubo para luego proceder a sacar el "casquillo" de tubo que queda sobre la placa y luego hacer una "ranura de corte longitudinal" (para proceder a desmontar el casquillo de tubo mandrilado y poder extraerlo, procediendo a disminuir su diámetro al achicar su diámetro de expansión.

**Los tubos cortados, luego se extraen por una tapa de mano sobre una de las placas. También podría ser válido, no cortar el tubo y proceder a un corte longitudinal del casquillo sin separarlo del tubo y luego extraerlo por medio de un esfuerzo aplicado en uno de los extremos, pasando por entre el tubo la linga o un varilla que se tirará con la linga y un gato (matraca) de gran esfuerzo** (este método es muy engorroso porque por lo general los tubos tienen algo de incrustación, lo que no solo dificulta el pasaje por el agujero de la placa, sino que puede dañar el asiento del agujero de la placa por el arrastre "forzado" del tubo para sacarlo)**.**

**Cuando uno vé los métodos que permiten cortar el tubo a unos centímetros de la placa, parece tentador tener una fresa motorizada de corte interior de tubos** (una herramienta que parece similar a una mandril, pero en realidad tiene una punta interna de corte que se va ajustando mientras se gira la herramienta desde el exterior, como si fuera un mandril)**, generalmente motorizada** (aire, eléctricos, etc.) pero que también hay manuales).

**Estos métodos parecen tentadores para cortar a los tubos, pero llevan mucho tiempo en hacerlo, ya que la "herramienta de corte" debe avanzar lentamente para ir cortando el tubo sin expandirlo.**

**Un sopletero bien entrenado, corta los tubos en pocos minutos, y esta operación no daña la placa, si se hace con cuidado, ya que está el corte unos centímetros para adentro del tubo** (3 a 4 cm. por lo general)**.**

**Una vez cortados los tubos, los tubos saldrán por una tapilla en una de la placas que por lo general se ha dejado para este propósito.**

**Queda el casquillo del tubo todavía firme sobre la placa, aquí es donde la operación es más delicada, ya que el corte longitudinal del casquillo no debe dañar la placa.**

**Para este trabajo, se puede usar una herramienta con percusión neumática o manual.**

En la figura 5-2 (del libro BOILERMAN 1&C) se podrá ver las dimensiones de un tipo de estas herramientas.

No se crea el usuario que con esto no corre peligro de "rayar" el asiento del tubo en la placa, es una operación muy "peligrosa" si la hace un oficial sin el conocimiento y práctica en esta operación.

**No es una cosa fácil lograr una herramienta con la dureza suficiente, ya que por lo general cuanto más dura es más frágil y la punta de la herramienta de corte tiende a romperse.**

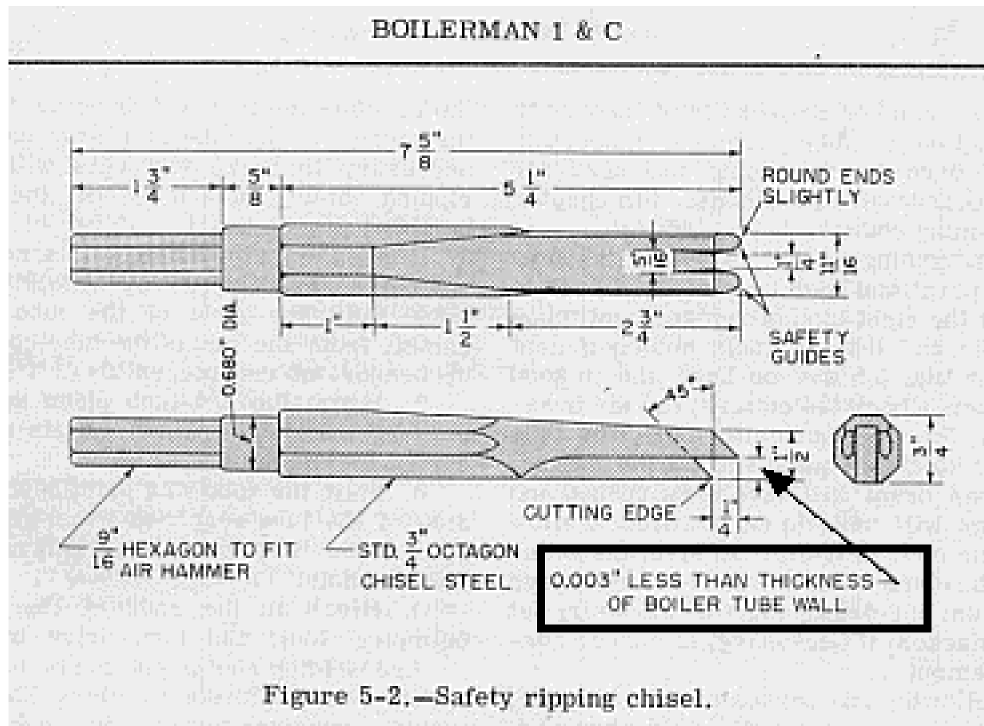
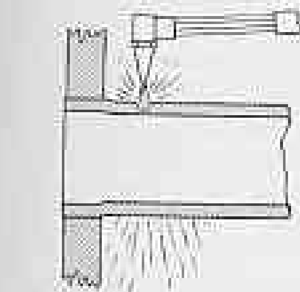
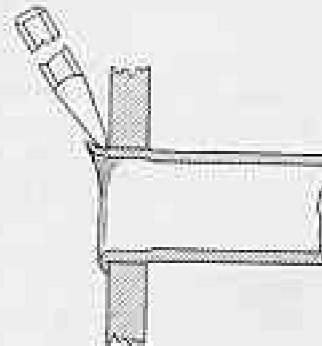


Figure 5-2.—Safety ripping chisel.

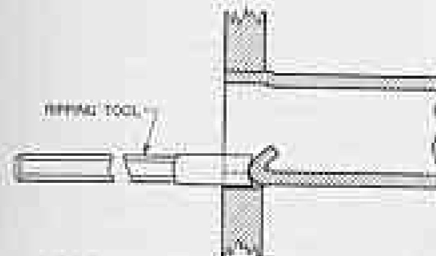
two methods of procedure in removing tubes: either burn off the faulty tubes with an acetylene torch 1 in. or more inside the sheet or drum or pull the entire tube length through the tube hole. The tube, the type of boiler, and the tube arrangement determine the method that should be used. It is usually advisable to burn out the old tube if this is possible. All bent tubes must be burned out, as they will not go through the tube holes. In these boilers it is sometimes necessary



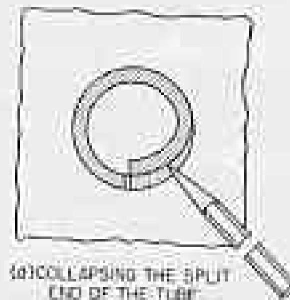
(a) CUTTING A TUBE WITH AN ACETYLENE TORCH FOR EASY REMOVAL



(b) CUTTING THE BEAD FROM A FIRE TUBE



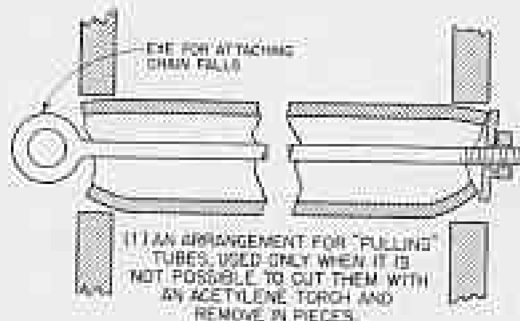

(c) USING A RIPPING TOOL TO CUT A SPLIT IN THE END OF A TUBE



(d) COLLAPSING THE SPLIT END OF THE TUBE



(e) THE CRIMPED END OF A TUBE




(f) AN ARRANGEMENT FOR "PULLING" TUBES, USED ONLY WHEN IT IS NOT POSSIBLE TO CUT THEM WITH AN ACETYLENE TORCH AND REMOVE IN PIECES

FIG. 6.2 *Removing boiler tubes.*

STEAM-PLANT OPERATION E.B.Woodruff and H.B. Lammers 1977

Quién ha reentubado calderas con más de 200 tubos mandrilados en los cabezales de calderas seccionales, sabe que este método de corte longitudinal (en tubos de pared relativamente gruesa, por ej. 4,5 mm. de pared), con los cabezales sostenidos por los propios tubos de bajada y subida de agua y vapor, un continuo "golpeteo" puede llevar a que se aflojen los asientos mandrilados de los tubos que no se cambiarán o que ya se han cambiado para mantener los cabezales en su lugar (incluyendo los asientos sobre los domos superior e inferior).

**A pesar que parezca que puede ser de riesgo, he visto sopleteros haciendo el corte longitudinal a soplete, sin dañar el asiento de las placas (con gas de garrafa, no con oxi-acetileno).**

**Esto es discutible, pero muchas veces frente a la realidad, parece ser que lo mejor no es amigo de lo bueno y debemos aceptar realidades que los libros no contemplan.**

**Ahora, si por usar un sopletero que no tiene la pericia del cortar los casquillos longitudinales en forma rápida y sin la profundidad de corte que marque las placas** (o usando un soplete con oxi-acetileno) **estamos haciendo un daño muy costoso de reparar en los asientos de las placas.**

**Este método del soplete en el corte longitudinal en la fría lógica, parece ser que el calor del soplete en el corte queda en el casquillo de menor espesor que la placa** (sube su temperatura en el corte rápidamente) **y como la placa con mucho más espesor está fría** (su disipación por la misma placa es muy superior que en casquillo, por lo tanto no sube su temperatura mayormente)**, el corte con una temperatura de llama de gas de garrafa, parece no dañar el asiento de la placa** (pero cuidado de usar un soplete de oxi-acetileno, en donde la temperatura de la llama de corte es muy superior, la penetración en el casquillo puede ser superada y con ello dañar el asiento de los tubos sobre la placa)**.**

## Cortador de tubos manual

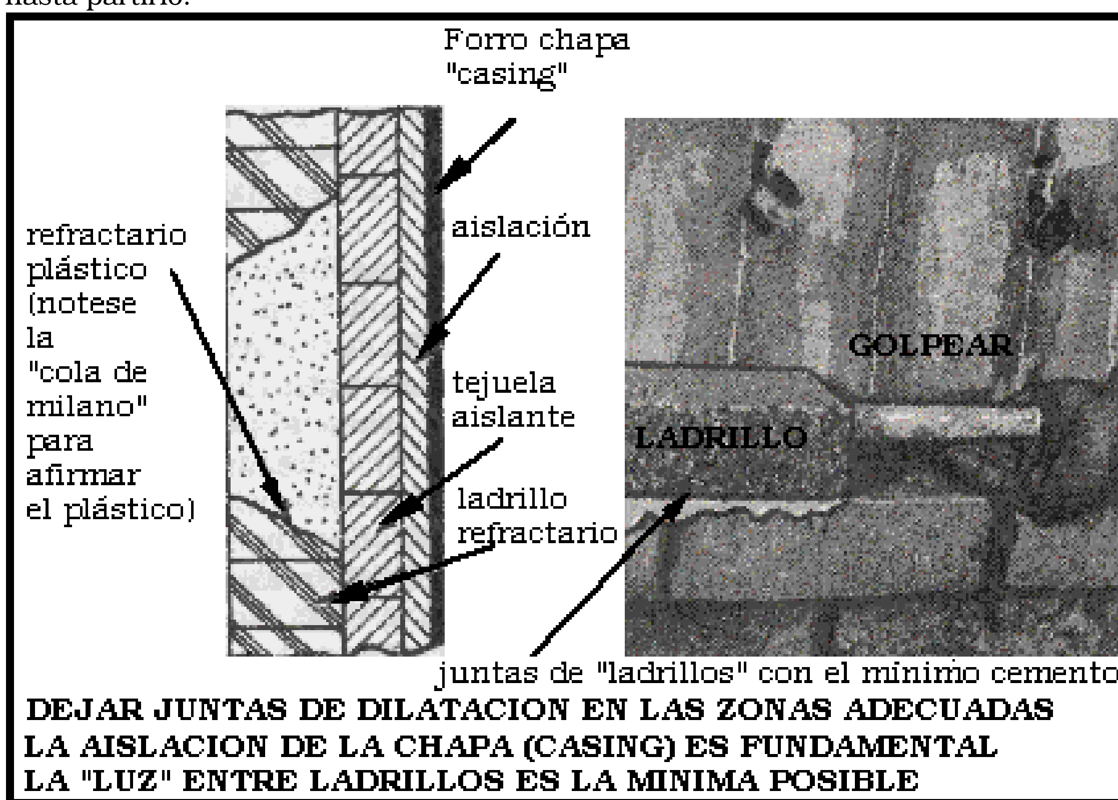


**He probado todos los sistemas, he visto dañar placas por mal uso del corte por soplete** ( CUANDO SE HA USADO ACETILENO en vez de gas de garrafa y oxígeno)**, pero también me roto la cabeza con los "cinceles" de corte longitudinal, ya que no es fácil su fabricación y tratamiento sin que después no se rompa por fragilidad o se "abolle" por falta de dureza.**

**Cada cual sacará su conclusión, pero aconsejo hacer una prueba en taller, con un trozo de metal similar de espesor a la placa, con varios tubos mandrilados** (o mandrilado y soldado) **y probar cual método se puede hacer sin riesgos.**

## 23-LOS REFRACTARIOS:

**Los refractarios** deben ser reparados por personas con conocimiento de refractarios ( "fumistas"). Las juntas de dilatación y la forma de unir las piezas deben ser hechas con conocimiento del tema. Los materiales a utilizar deben ser comprados de acuerdo al lugar y forma de uso (varían con la temperatura, con la variación de la temperatura y la forma de reparación). Todo material refractario que se ha puesto debe ser secado "muy lentamente" (salvo los "plásticos refractarios" para reparación rápida) y a "fuego lento" todos (algunos deben ser cocinados a altas temperaturas, otros ya lo han sido en hornos especiales, como el caso de las piezas o ladrillos refractarios). Cuando sean material del tipo "plásticos" (refractarios para reparación rápida) deben de ser "pinchados" para que queden orificios para el escape del vapor de agua desde el interior (de lo contrario rajarán por la presión interna del vapor de agua que se forma). Cuando se suelden soportes para el refractarios: "anclajes", en zonas muy calientes convienen que sean de inoxidable (para temperatura) y serán envueltos con un material que entre en combustión para dejar que queden con juego para absorber las dilataciones del metal o de lo contrario"forzarán el refractario" hasta partirlo.




**Los refractarios por si mismo <u>no son aislantes</u>, sino que su condición es soportar las altas temperaturas desarrolladas en la combustión** (generalmente para proteger el material aislante, que protege a el metal; son de muy alta densidad o sea pesados), **por ello, entre el metal y el refractario deben ir materiales aislantes** (como ladrillo aislante, un material muy liviano; lanas minerales, ladrillo de campo, **asbesto, vermiculita** -estos dos últimos cuestionados por **cancerígenos**, algunas vermiculitas pueden contener algunas fibras de **asbesto**, etc.). Las zonas que son exclusivamente

limitadas por material refractario y este no tiene una refrigeración por agua (como en caldera acuo-tubulares o "capillas" de tubos, tanto en calderas a combustibles líquidos, gaseosos o leña, deben ser aisladas con cierta precaución si la temperatura es de alto tenor o sea está en contacto con la combustión, ya que un exceso de aislación no permite el "gradiente" de temperatura necesario para evitar que la masa refractaria tome una temperatura igual a la de combustión, lo que provoca un deterioro del refractario y a veces una deformación del sistema de anclaje.

**Los refractarios en calderas** (cuya combustión es de tendencia ácida) **generalmente son de material del tipo ácido** (como la sílice y el aluminio en su combinación con otros elementos)**, pudiendo haber refractarios alcalinos** (cuya base por lo general son el magnesio, el calcio), **que generalmente se utilizan en algunos tipos de hornos** (que mezclan los combustibles con elementos alcalinos, como los hornos de cal), todo esto significa que debemos respetar el uso de refractarios ácidos con combustiones de características ácidas, de los contrario si usáramos un refractario que fuera diferente a la característica del medio, se produce una reacción que provoca el deterioro del refractario (los ácidos con elementos alcalinos, se combinan y provocan el deterioro).

**Hay materiales más aptos para las reparaciones de emergencia**, las cuales no se pueden dejar "fraguar" un tiempo, como el **refractario "plástico"** (este material se amasa, casi sin agua, como una masilla, de manera que sea capaz de formar una bola sin que se parta. Este material se debe aplicar en zonas que previamente se ha preparado, de manera que haga su propio anclaje (como si fuera una "cola de milano" o lo que hace un dentista para poner una amalgama), al poner el material se golpea con una maceta ("se taca") y luego se hacen pinchazos con un alambre fino de acero (para que salga el vapor de agua de su interior, que se forma al calentar sin secar). **Este material se puede calentar suave inmediatamente hasta cocinar.**

**Los concretos** (tipo hormigones), deben ser vaciados como si fuera un hormigón y requieren un tiempo de fraguado y secado, luego fuego muy lento, de varias horas para llegar a la temperatura de trabajo. Si en su interior se pone una armazón de metal, esta debe ser cubierta con un material que se "queme" (cinta de papel envolviendo el hierro, alquitrán u otro material que forme una capa), este espesor que desaparece, permite la dilatación del metal sin romper refractario.

**Para hacer "pantallas" o proteger los tubos** del fuego directo, hay materiales refractarios especiales (como el "**chrome-ore**" o sea: mineral de cromo), que se depositan sobre los tubos, los cuales llevan "tetones" (a veces de inoxidables), sobre los cuales el refractario queda anclado.

**Las dilataciones,** deben ser tenidas muy en cuenta, para evitar la fisura del refractario por un exceso de presión. Las ranuras dejadas para dilatación (que se forman con materiales combustibles: cartón, madera, espuma sintética, etc,) luego que los materiales al quemar, han dejado la ranura, la misma debe taparse con un cordón de amianto (un tipo de asbesto más sedoso) o lana mineral, para evitar la entrada de pequeños fraccionamiento del propio refractario, que una vez que rellenen la ranura, esta pierda la capacidad de permitir la dilatación de los refractarios.

| DILATACION A CONSIDERAR PARA CADA MATERIAL REFRACTARIO | Thermal Expansion 0-1400°C | Inches per Foot |
|---|---|---|
| 95% Silica Bricks | 1.25% | 5/32 |
| Firebricks | 0.75% | 3/32 |
| **High Alumina (50-60% $Al_2O_3$)** | **0.8%** | **3/32** |
| **High Alumina (over 60% $Al_2O_3$)** | **0.9%** | **1/8** |
| Magnesite Bricks | 1.74% | 1/4 |
| Chrome-Magnesite Bricks | 1.38% | 3/16 |
| Unburned Magnesite Bricks | 1.5% | 3/16 |
| Unburned Chrome-Magnesite Bricks | 1.2% | 5/32 |
| Chrome Bricks | 1.16% | 5/32 |

**Golpes de aire frío,** se deben evitar sobre los refractarios, estos se fisuran. Cuanto más calificado sea el refractario para altas temperaturas, más cuidado se debe de tener de su exposición a los golpes de aire frío. Estos golpes de aire frío provocan fisuras en estos materiales tan duros y de tan alta densidad, por eso sobre las "bocas" de carga deben ponerse materiales más "blandos" o sea, con menor tenor de sílice o alúmina.

**Cuando se instalan ladrillos refractarios o piezas, si bien hay que dejar ranuras de dilatación, el asentamiento entre los mismos es con una base de cemento sumamente fina** (esto es diferente a una pared común de ladrillo, aquí el ensamblamiento se base en el trabado de las piezas y no en el relleno de sus uniones, ya que si se pone mucho cemento, el mismo tiende a "aflojar" y hacer ceder la pared o arco). Los arcos deben hacerse con las piezas adecuadas ("cuchillas") con los grados necesarios para cerrar el arco sin casi el uso de cementos, estos será muy importe, ya que el arco se moverá con la dilatación y la contracción provocada entre la presencia de distintas potencias de combustión o enfriamiento (**una caldera u horno con mucho refractario, se debe enfriar lentamente y no forzadamente a base de aire forzado, ya esto sería muy malo para el material refractario).**

**Otro problema a contemplar con los refractarios, es su gran peso** (su gran densidad o peso por volumen: Kg/dm3), esto hace que la base de sostén debe ser adecuada para soportar dicho peso, especialmente considerando que habrá corrosión o deterioro de las estructuras metálicas con el paso del tiempo.

Los refractarios calientes, no deben ser mojados con agua fría, pudiéndose usar si es necesario agua caliente, siempre y cuando ya la temperatura del refractario está relativamente baja. **Por eso, en caso de instalar un sistema de sofocación de combustión, los ideal es la instalación de una inyección de vapor y no de agua** (pero si hubiera que usar agua, que esta sea una "niebla" y no un "chorro").

Muchas veces el material refractario se utiliza como una protección al exceso de exposición de calor a algunas partes expuestas de la caldera, que de lo contrario no solamente se "quemarían" por exceso directo de la llama radiante, sino que el exceso de transmisión de calor provocaría una mala circulación interna del agua de la caldera, que llevaría a problemas en esa misma área u otra. **Ejemplos de elementos protegidos del exceso de calor:** a-colectores horizontales (aquí dos cosas obligan a aislar, el espesor del metal que dificulta su enfriamiento y la posición horizontal dificulta la evacuación del vapor que se pueda formar, puede afectarse la circulación interna el hecho que la masa de agua pasa a un volumen mucho mayor y disminuye la circulación del agua; b-algunas partes, como los gasógenos, cuya circulación interna de por sí puede ser dificultosa si se forma vapor (recordar que 1 Kg. de agua a 10 Kg/cm2 pasa a ocupar un volumen 180 veces

mayor al vaporizar, lo cual disminuye la circulación de la masa de agua interna, no refrigerando lo suficientemente al gasógeno, tanto los de tubos como los de envuelta) , c- zonas expuestas a la radiación muy intensa (como tubos pantallas o baflles); d- Domos y colectores expuestos a zonas radiantes (dado el espesor del metal y su mala conducción no permite su correcto enfriamiento).

**COMPOSICION QUIMICA PORCENTUAL DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS** (M.R.Villanueva)

| CLASE DE LADRILLO | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $Cr_2O_3$ | Oxidos secundarios |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sílice de 1ra. | 94 a 97 | 1 a 2 | 0,5 a 1,5 | 2 a 3,5 | — | — | 1,5 a 2,5 |
| » » 2da. | 92 » 94 | 1 » 5 | 0,5 » 1,5 | 2 » 4 | — | — | 1,5 » 2,5 |
| Arcilla refractaria (1) | 50 » 65 | 32 » 45 | 0,8 » 3 | 0 » 0,5 | 0,2 a 0,5 | — | 3 » 6 |
| Chamota semi-ácida | 65 » 85 | 12 » 32 | 0,8 » 3 | 0 » 0,5 | 0,2 » 0,5 | — | 4 » 7 |
| Magnesita | 2 » 6 | 1 » 2 | 4 » 8 | 1 » 2 | 85 » 89 | — | 5 » 10 |
| Cromita | 3 » 6 | 15 » 33 | — | — | 14 » 18 | 30 a 45 | — |
| Reglamentarios en la Marina (2) | 40 » 56 | 40 » 46 | 1,8 | 0,5 | 0,3 | — | — |

(1) Chamota básica.
(2) De alúmina y arcilla. Contienen, además, como máximo: titanio 2 %; álcalis 0,7 %. Temperatura de fusión: sup. a 1720 °C. Se emplean para hornos de petróleo.

**También el refractario se utiliza en forma de elevar la temperatura del hogar en ciertas áreas, para lograr una mejor combustión** (ya que es mal conductor del calor, proteje y tiene gran densidad, acumula y "refleja" el calor)**.** Tanto en la zonas del quemador (doble función, protección y estabilización de la llama por el calor radiante de la propia boca del quemador). O en las zonas de finalización de la combustión, para evitar el enfriamiento excesivo de la llama, que por debajo de cierta temperatura se apagará (produciendo hollín, pérdidas por gases sin quemar, etc.).

## Reparaciones de calderas:

Cuando se habla de reparaciones, aparentemente se piensa en algo más elemental que la construcción de una caldera, esto no es así:

Una **reparación de envuelta, placa u hogar**: **son "palabras" mayores.** Deben ser efectuadas por talleres "habilitados", con inspecciones posteriores (oculares, radiografías, ultrasonido, etc.). Pruebas hidráulica con un técnico con experiencia. Denuncia de la reparación al Ministerio (LATU) con la inspección correspondiente.

**Se podrán anular tubos**, siempre que su % no afecte la circulación o se hagan pasajes de gases, que sean tubos de refuerzo o baje la capacidad de la caldera. La anulación de tubos podrá ser con tapones (en algunos casos, siempre que no haya un problema de recalentamiento de la placa y del tapón) o con falsos tubos ( trozo de tubo cerrado, mandrilado en lugar del tubo quemado). En algunos casos se deberá poner refractario para tapar los tapones o pasajes que dejará el tubo quemado.\

**Nombres de asociaciones que están involucradas en las normas de construcción y funcionamiento de calderas.**

En nuestro país existen normas y regulaciones establecidas por el Ministerio de Industria y Energía, por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, por el Banco de Seguros del Estado, por algunas Intendencias Departamentales, por Bomberos, UTE, normas UNIT: Instituto Uruguayo de normas técnicas, LATU (Laboratorio tecnológico del Uruguay) , etc.. Estas normas y regulaciones no abarcan el total de las necesarias para la fabricación de las calderas con referencias al material, condiciones de construcción, tratamientos y controles de calidad, por lo que cuando pedimos la construcción o reparación de una caldera debemos de solicitar respecto a que normas (y organizaciones) responden los items antes mencionado .

Dichas asociaciones o nombres de normas son :

**Americanos:**

**ASME** -American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) **ASME , Boiler and Pressure Vessel Commitee** (Sección de la sociedad anterior que se ocupa de las calderas y recipientes a presión).

**ABMA**-American Boiler Manufacturaters Associations. (Sociedad Americana de fabricantes de calderas). Que aceptan las normas de la sociedad anterior.

**ASTM**-American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para la prueba de materiales). **AGA-**American Gas Association, **ANSI-**American National Standards Institute,Inc.**NEMA-**National Electric Manufacturers Association, **NFPA-**National Fire Protection Association, **UL-**Underwrites Laboratories, Inc.**AWG-**American Wire Gauge.

**SBI**- Steel Boiler Institute ( Instituto de calderas de acero).

**NEMA**-National Electrical Manufacturates Association. **AWS**- American Welding Society, Inc.,**ASHRAE** -American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ASA**-American Standards Association , etc..

Normas Argentinas : **IRAM**.

**Europeos:**

**NBN**- Normas Belgas. **VDTUV**- Normas Alemanas. **BRITISH**- Normas Inglesas. **ABG-28**- Normas Dinamarquesas. **CECT**- Recomendaciones Europeas.

**Otras normas** que podrán ser tenidas en cuenta:

**TDR-**Technical Rules for Steam Boilers-

**DIN**-Deustche Industrie Normen (Normas Alemana para la industria) . etc.

**ISO**- International Organization for Standardization(Organización internacional para uniformizar los sistemas).

**B.S.**- British Standards (normas inglesas). **SAE** - Society of Automotive Engineers , **AISI**-American Iron And Steel Association ,**AWWA-**American Water Works Association. **NEWWA**-New England Water Works Association , Etc..

## 24-Consideraciones para comprar una caldera:

Debemos de tener en cuenta :

1-El **combustible** (o los combustibles y su calidad en las peores condiciones).

No todos los tipos de calderas pueden quemar cualquier tipo de combustible.

Podemos establecer que si las calderas son especialmente diseñadas para sus respectivos combustibles, las siguientes **relaciones aprox.**:

**1 L. de F. Oíl pesado equivale a**...............**3,0-3,5 Kg. leña con 25% H.b.h.**
**1 L. de F. Oíl pesado equivale a**.........**1,05-1,15 m3. de gas natural** (Paysandú)**.**
**1 L. de F. Oíl pesado equivale a**...........**3,3-3,6 Kg. cáscara arroz 10% H.b.h.**

Estos valores están afectados si las calderas tienen recuperadores de calor, que no siempre es posible (por problemas de corrosión). Cuando **la caldera se pretenda para**

**quemar gas natural**, se debe de considerar si el diseño es adecuado para la quema de gas natural, de lo contrario se corre el riesgo de aflojamiento de tubos y fisuras, en la placa más caliente, dado que el gas tiene una temperatura más elevada al final del hogar debido a la forma de transmitir el calor diferente a los combustibles líquidos (estos últimos tienen una llama más radiante, más sobre el quemador, por lo cual enfrían la llama rápidamente en el hogar, antes de llegar a la placa más caliente). **Además, cuando se quema gas natural, un combustible muy difícil de almacenar y que puede estar sujeto a cortes en el suministro, es conveniente disponer alternativas de combustible** (como ser: un quemador dual, que pueda quemar combustible líquido o gas natural).

2-La calidad del **agua de reposición y condensados**, la posibilidad de tratamientos (la limpieza química y mecánica).

No todos los tipos y dentro de los tipos, no todos los modelos tienen acceso mecánico para limpieza, habiendo tipo de calderas que no toleran contaminaciones del proceso (aceites, grasas, etc.) otras no toleran barros o son sensibles a cualquier clase de incrustaciones, otras son arrastradoras , etc..

3-La **presión de trabajo** normal y sus limitaciones (respuesta).

Hay calderas que son lentas a las respuestas de los cambios de presión, afectando con esta características el desempeño o calidad del vapor.

4-**Temperatura** ( vapor saturado o sobrecalentado) y **calidad del vapor** ("cualidad", "título" o humedad y pureza ).

De acuerdo a su utilización, la temperatura y calidad del vapor es clave, pudiendo una caldera no funcionar correctamente para la alimentación de vapor a una turbina (arrastres y sobrecalentamiento necesario), o como para que la pureza deseada del vapor pueda afectar el proceso ( teñidos, procesos alimenticios, etc.).

5-**Capacidad de vapor horaria** (Kg/hora) y su **posibilidad de sobrecarga** ( %).

Esta capacidad la debemos calcular a partir de las necesidades máxima de vapor de la planta, considerando un % de "pico" o sobrecarga en la puesta en marcha de la planta o en la previsión del aumento del consumo de vapor en el futuro.

Para expresar la capacidad de la caldera debemos de ser cuidadosos, ya que la capacidad varía de acuerdo a la presión del vapor y a la temperatura del agua de alimentación. Una forma de expresión para evitar esta confusión, es expresar la capacidad de vapor en Kgs. hora de vapor de 100ºC a 100ºC (equivalente de evaporación) o de lo contrario expresar los parámetros anteriores de presión, temperatura del vapor, "cualidad" del vapor y temperatura de alimentación (ambas formas son intercambiables). **Debemos considerar que lo conveniente de la capacidad al cual va ser usada la caldera sea el el punto no solamente de mayor eficiencia, sino que la calidad del vapor sea adecuada** (generalmente en el orden del 70% es el ideal, ya que cuando la caldera pasa a funcionar por encima del 70% aparecen los problemas de la calidad del vapor : arrastres y espumas, relacionados a los límites químicos establecidos, ya que la vaporización específica es muy alta en la actualidad, lo que significa un mayor factor de inestabilidad interna).

**La capacidad horaria de Kg. de vapor**, también la podemos establecer, **en relación al consumo horario de combustible**, por lo cual podemos establecer las siguientes relaciones aprox. para caldera de vapor saturado entre 7 a 10 Kg/cm2 de presión :

**1 L. F. Oíl pesado**................................**12,5 a 14,5 Kg. de vapor .**
**1 Kg. leña 25H.b.h.**................................**3,8 a 4,8 Kg. de vapor .**
**1 Kg. de cáscara de arro**z 10%H.b.h....**3,6 a 4,2 Kg. de vapor .**
**1 m3. gas natural (Pay.)** ....................**12,5 a 13,5 Kg. de vapor .**

Estos valores están relacionados al diseño de la caldera, el % de marcha, a los recuperadores de calor en chimenea, al exceso de aire, la calidad de combustión, temperatura del agua de alimentación, vapor saturado, vapor sobrecalentado, aislación, pérdidas y purgas, etc..

6- **Eficiencia Total referida al P.C.I. (%) al 100% de capacidad.**

**Nos permite obtener una idea de los Kgs. de vapor por Kg. de combustible** para poder comparar distintas ofertas. (Los combustibles y demás parámetros deberán ser iguales para poder hacer la comparación). Aquí estarán indicadas la eficiencia global de la caldera (la Eficiencia de Combustión y Transferencia, la Eficiencia de la Caldera como equipo térmico: aislación solamente, ya que se supone que las purgas estarán cerradas en la prueba y no deberá haber pérdidas de agua o vapor). Esta Eficiencia Total al P.C.I. al 100% de la capacidad, hoy en día anda próximo a los 90% al P.C.I. (ya que la Eficiencia Térmica en general anda en el 97% a 99%, y la Eficiencia de Combustión y Transferencia entre un 88% a 91% al P.C.I, ambas según sea el tipo de caldera relacionada al tipo de combustible y sus recuperadores de calor. Recordar que al 100% de capacidad no es el punto de mayor eficiencia (es próximo al 70% en general). Debemos de decir que cuando nos referimos a la Eficiencia al P.C.I nos dá % más representativo de la caldera y que cuando nos dan la Eficiencia referida al P.C.S. nos da % que refleja más el comportamiento del combustible. Los americanos (USA) usan por lo general la Eficiencia al P.C.S., en Europa (y por lo general Uruguay), se utiliza al Eficiencia al P.C,I, **aquí lo importante es tener mucho cuidado cuando comparamos ofertas con Eficiencias expresadas en diferentes Eficiencias** (por lo general, hay unos puntos de % más bajo en la Eficiencia al P.C.S. que la expresada al P.C.I, cuanto más sea la diferencia del combustible entre el P.C.S. y el P.C.I, esta diferencia será mayor, aunque si bien los % en números son diferentes, indican lo mismo, ya que cada % de expresión de Eficiencia se debe multiplicar por el respectivo P.C. y ambos darán la misma cantidad de calor aprovechado).

7-**Eficiencia (P.C.I. ) de combustión en el tiempo.** (períodos de limpieza sin perder la Eficiencia en forma notoria, se nota generalmente por aumento de temperatura en los gases de chimenea, aumentando la pérdida por la misma).

Permite saber de antemano los tiempos de parada para limpieza (tiene un costo) y si el consumo de combustible no aumentará en demasía entre períodos por pérdida de la Eficiencia al ensuciarse la caldera. La temperatura de chimenea es la más afectada con el ensuciamiento de las superficies de transferencia y por lo tanto la Eficiencia de Combustión y Transferencia, bajando el misma entre períodos de limpieza.

8-**Sistema de seguridad** : válvulas de seguridad (aconsejable 2 mínima), controles de nivel (2 mínimo con corte de combustión), grifos de control de nivel, presóstatos, alarmas , tapón fusible (si es reglamentario) , etc..(verificar que las válvulas de seguridad sean realmente de : apertura total, diferencial y que tengan palanca de prueba).

9-**Sistema de purgas** : purgas de nivel (conectadas para apertura total), purgas de fondo (preferible doble válvula con una rápida) y purga **continua** (de superficie).

10-**Entradas de inspección** y **limpieza**-Entrada de hombre si es necesaria, cabeza y mano (cercanas a las purgas, entradas de alimentación, partes de fondos y parte superior para control de limpiezas químicas y mecánicas).

11- **Bomba de alimentación** con capacidad suficiente para un prolongado tiempo de servicio (presión y capacidad), atendiendo a las condiciones químicas del agua y temperatura (empaquetadura o sello mecánico), servicio discontinuo o servicio permanente (regulación continua), rendimiento (ó consumo de potencia). Sistema alternativo de alimentación: inyectores a vapor o bombas alternativas (calderas a combustión de celulósicos: leñas, cáscaras, etc.)

12-**Control de la combustión**: **sistemas relacionados con su seguridad**, modulación continua (se obtienen los mejores rendimientos), semi-modulado (por saltos) o discontinuas ( on-off) cuyo rendimiento es el inferior.

13-**Normas de construcción y pruebas** : ASME, NBN,VDTUV,IRAM,CECT, etc.

14-**Garantía , inspecciones durante y al final de garantía.** Con medida de la Eficiencia, directa e indirecta.

Dentro de los controles de fabricación: es importante informarse que se cumplan con las inspecciones de construcción, especialmente las radiografías de soldaduras de aquellos lugares que indiquen las normas (envueltas y domos, etc), el aliviado de tensiones según normas, que se hace por "recocido" ( normalizado) de las partes sometidas a presión (generalmente envueltas con sus placas, hogares y domos, etc.), las pruebas hidráulicas indicadas al efecto, etc.

Es aconsejable antes de comprar una caldera: pedir al fabricante los lugares en que se encuentran equipos instalados de similar características, visitar a dichos establecimientos en forma personal, hablar no solo con los encargados, sino con los foguistas a cargo de las calderas (sin la compañía del fabricantes de caldera, que luego se podrá coordinar una nueva visita para la cual estaremos preparados para hacer preguntas).

En la **primer visita es conveniente preguntar**:

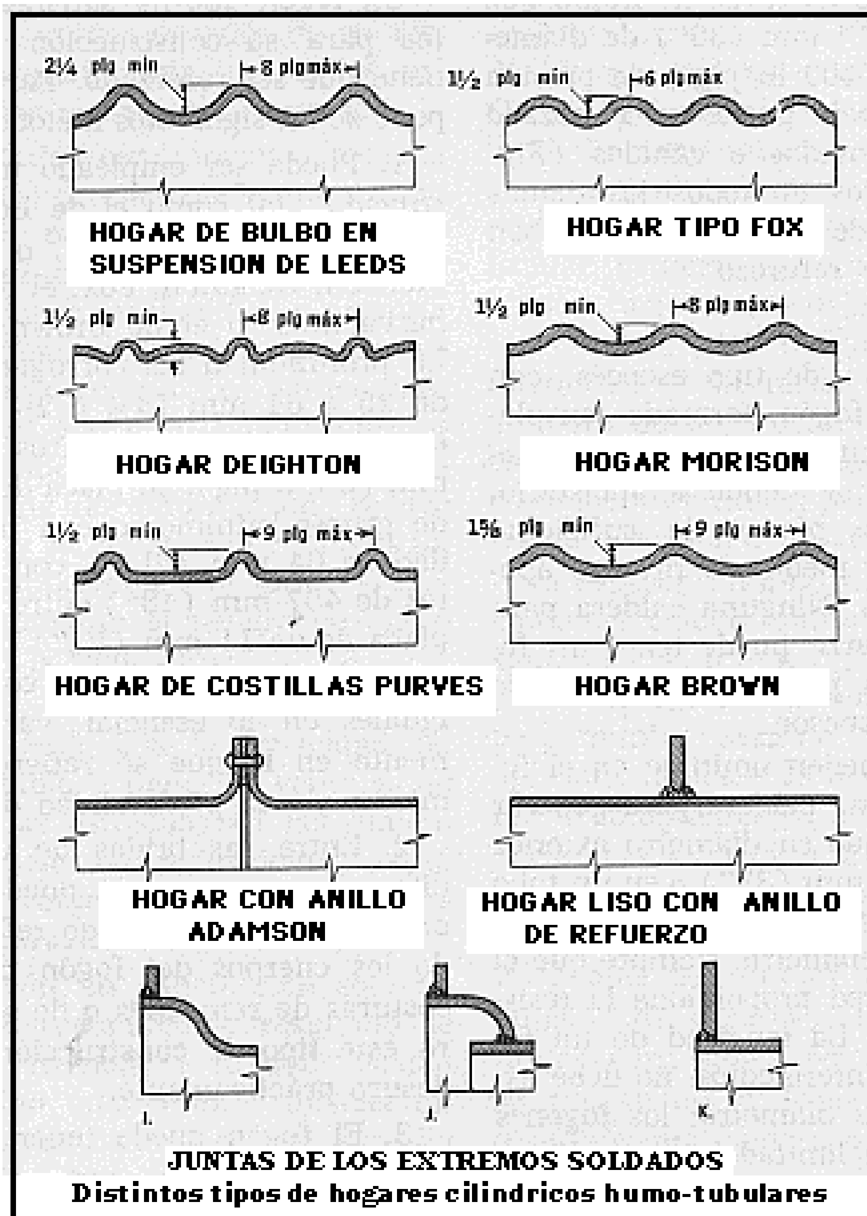
Conformidad con la misma. **Repuesta a los cambios de consumos.** Tiempo de calentamiento para su puesta en servicio. **Períodos entre limpiezas y variación de la temperatura de chimenea entre dichos períodos**. **Problemas con la calidad del vapor**. Aflojamientos de tubos. Explosiones de hogar. Repuesta a las distintas calidades de combustible. Facilidad de la limpieza de la parte de humos y de la parte de aguas. Kg. de vapor por Kg. de combustible (si es leña preguntar la humedad). Número de personal para su funcionamiento. Límites en la calidad del combustible (en leña humedad). Límites en la calidad del agua de alimentación (problemas de arrastre o espumas). Zonas de mala circulación de agua (probable depósitos barrosos). Recuperadores (eficiencia y limpieza). Facilidad de manejo. etc.

**Una de las limitaciones más importante** en las calderas en la parte de combustión es la **cantidad de calorías por m3. máximo** que podemos **liberar en el hogar** (**promedio en Kcal/m3.**), así como **el máximo pico de flujo de calor por superficie** (**Kcal. por m2**). Debemos de tener en cuenta que el fabricante cumpla con esta norma, ya que se encuentra muy ligada la misma a la seguridad de los hogares cilíndricos especialmente. Ejemplo: En calderas humo-tubulares es de **1.250.000 Kcal/m3** para la British Engine Regulations y el límite de pico de flujo por la superficie de la cámara de combustión es de **250.000 Kcal./m2** para la ABG 28, etc.. Este límite afecta hasta el espesor del material del hogar cilíndrico.

En los hogares acuo-tubulares esta expresión afecta a la circulación del agua en los tubos, pudiendo los mismos "quemarse" por falta de "refrigeración".

**El hogar cilíndrico de las calderas humo-tubulares** podrá ser "**corrugado**" (con formas cilíndricas de distinta dimensión y perfil, lo que hace que el hogar soporte mejor la presión y "absorba" en parte el gran esfuerzo de dilatación provocado por la alta temperatura de la llama en su interior) o "**liso**" (un simple cilindro, que podrá tener soportes cilíndricos, como aros, del lado del agua, es decir refrigerado, los hogares cilíndricos lisos están limitados a calderas de poca capacidad, dado que el problema de la dilatación no está contemplado, aunque en algunos casos se le pone una "arruga" o "junta de dilatación" única para este fin).

El sistema de "corrugado" más común es el sistema FOX (dado que es el más simple de hacer, ya que por lo general, una vez que el hogar se ha cilindrado, con una soldadura longitudinal única, al ser cilindrado de una sola chapa, se somete a una especie de torno con ruedas "repujadoras" con la forma de la "arruga" y sopletes que someten el material a un calentamiento en la zona a deformar. Otra forma de hacer el hogar " corrugado" es hacerlo en dos mitades con una "prensa", previo calentamiento del material a deformar, soldándose luego las dos mitades.



Distintos tipos de hogares cilindricos humo-tubulares

**La dilatación de hogar cilíndrico en una caldera humo-tubular, hace que se provoque un esfuerzo entre placas** (salvo que el hogar sea "flotante", como el caso de algunas calderas de llama de "retorno"), los tubos que unen las placas y la envuelta soportan este esfuerzo, dado que el calentamiento del hogar en determinados momentos provoca una dilatación mayor que los pases de tubos (por ello hay tubos reforzados , tubos "stays", cuya función es soportar este gran esfuerzo y el de la propia presión de la caldera que ejerce un esfuerzo sobre las placas que son planas y por lo tanto su forma no es la más adecuada para soportar un esfuerzo que puede distorsionarlas). **Los tubos hoy en día van mandrilados y soldados**, antes solamente mandrilados y "recalcados" (es decir, su extremo "aplastado" o "acampanado", por dos razones, para soportar mejor el esfuerzo

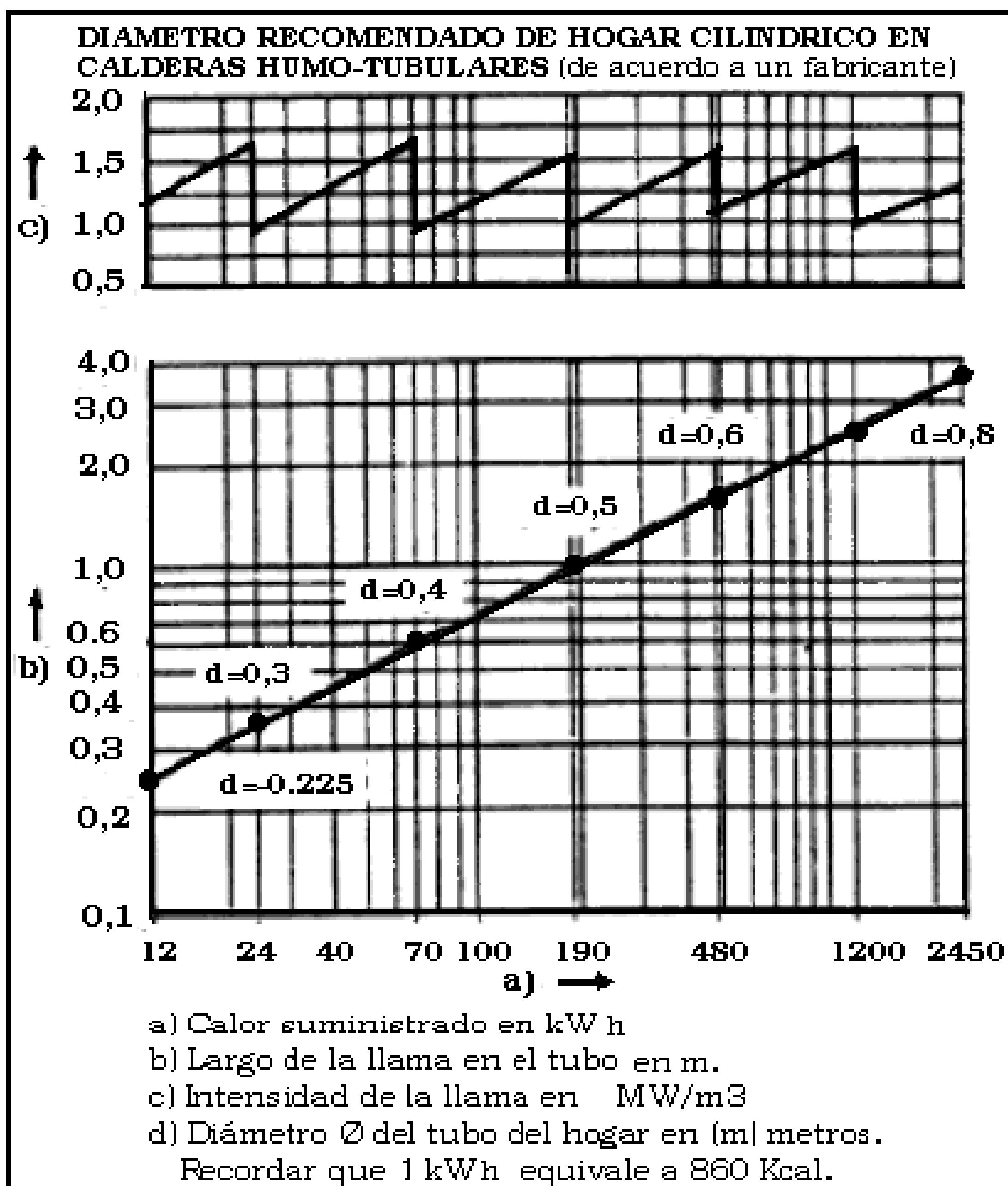
y para evitar que se "quemen" las "puntas sobresalientes de los tubos" en el primer pase de tubos, en donde la temperatura está en los 900ºC , a la salida del hogar). Los tubos "stays", antes eran de mayor espesor, en algunos casos con "tuercas" de afirmado, hoy por lo general estos tubos son soldados con mayor "agarre" , soldadura más profunda, que los tubos que solo deben mantener la "estanqueidad" con la soldadura. Cuando una caldera está incrustada, tienen los hogares, placas y tubos, menor enfriamiento, lo que provoca mayores dilataciones que tienden a fisurar las soldaduras de los mandriles, o aflojar los tubos mandrilados, "rajar" los tubos y las placas entre agujeros de tubos, o hasta la fisura de los extremos de hogar o cuando nó, su fatiga y colapso. **Este mismo problema de dilataciones anormales, se produce cuando las calderas son calentadas demasiado "rápido" cuando están frías.**

**También sucede lo mismo cuando las condiciones químicas del agua no permiten un enfriamiento correcto de las superficies de transferencia, por alteración de la circulación interna** (elevados T.S.D., elevado PH, alcalinidad, etc, o contaminaciones con elementos que alteren la tenso-actividad del agua, todos estos problemas se observan cuando hay "agitación en los niveles visuales" por encima de los normal, siendo generalmente la solución abrir la "purga continua" al máximo hasta que pase esta situación, conviene además bajar la vaporización de la caldera hasta pasar este momento de agitación).




CALDERA CON HOGAR LISO CON JUNTA DILATACION

**Pero cualquiera sea el tipo de hogar cilíndrico, hay un diámetro mínimo para cada potencia máxima de combustión de la caldera.**




**El diámetro del hogar en una caldera humo-tubular, juega un papel muy importante, especialmente en la quema de F. Oíl, dado que la llama necesita un espacio suficiente en el diámetro, de manera que el combustible atomizado no "choque" con la pared relativamente fría de hogar cilíndrico y no permita su correcta combustión** (esta situación no se corrige con el ángulo de atomización, ya que para una determinada "potencia" de combustión, es necesario que este diámetro tenga un mínimo).

**Otras formas de expresión de la vaporización de una caldera:**

Podemos decir que la vaporización de una caldera es de 40 Kgs. /hora de vapor por m2. de superficie de calefacción, es decir que la capacidad de vapor en Kgs. de la caldera esta dada por el expresión de :

Kgs./h/m2 x superficie calefacción = Kgs. de vapor hora (debemos decir que presión, temperaturas del vapor y del agua a utilizar , o los Kgs. de vapor "equivalente" o sea de 100ºC a 100ºC).

En las calderas antiguas este valor estaba en unos 15-20 Kgs./h/m2, estando actualmente en más de 50 -55 Kgs./h/.m2. en calderas humo-tubulares.

Los americanos (U.S.A.) expresan la capacidad de vaporización en "caballo de vapor de caldera" ( CV): 1 "caballo de vapor" equivale a 33.475 BTU/hora ó 8.502 Kcal/hora (unas 30 Lb. vapor a 70 lb/pulg.2 manométricas con agua de alimentación a 100ºF , o sea , unos 13,6 Kg. de vapor a 4,9 Kg./cm2 manométricos con agua de alimentación a 37,7ºC).

No deben confundirse esta expresión promedio de Kgs/m2 que se refieren a la superficie total de calefacción con aquellas referidas a los límites máximos admisibles en los hogares que también se refieren a superficies. En la actualidad, es muy común expresar la capacidad de la caldera en Kwh (kilovatios/hora, 1 kwh=860 Kcal), tanto la capacidad de combustión, como la capacidad de producción de vapor. También se utiliza el Joule o mejor el MJ (mega-Joule, recordando que un mega es 1.000.000 de veces y que el Joule equivale a un vatio o watts, una medida referida al segundo, lo cual si los trasladamos al Kwh, equivale 3,6 MJ, siendo un Kwh igual a 860 Kcal o que 1 MJ= 860/3,6= 238,9 Kcal).

## 25-DATOS SOBRE LOS QUEMADORES

**Temperatura aconsejables para los distintos tipos de atomización :**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Atomización mecánica.......... | aprox. | 135º | a | 145ºC en F.Oíl Pesado. |
| | aprox. | 115º | a | 125ºC en F.Oíl Calefacción. |
| Atomización a vapor .......... | aprox. | 95º | a | 110ºC en F.Oíl Pesado. |
| | aprox. | 75º | a | 90ºC en F.Oíl Calefacción. |
| Atomización con aire .......... | aprox. | 110º | a | 125ºC en F.Oíl Pesado. |
| | aprox. | 90º | a | 115ºC en F.Oíl Calefacción. |
| Atomización por copa .......... | aprox. | 90º | a | 100ºC en F.Oíl Pesado. |
| | aprox. | 60º | a | 70ºC en F.Oíl Calefacción. |

Estos valores varían de acuerdo a las condiciones locales del quemador (tipo de quemador, hogar, operación, etc.).

**Valores de viscosidad (aprox.) atomización según tipo de quemador:**

**300-150 S.S.U.** (segundos Seybolt Universal) quemadores grandes de atomización a vapor.

**100-150 S.S.U.** quemadores pequeños de atomización a vapor o aire, copas rotativas.

**100-70 S.S.U.** quemadores grandes de atomización mecánica.

**70-36 S.S.U.** quemadores medianos y pequeños de atomización mecánica por toberas (preferiblemente H.O-Heavy Oíl). Con toberas comunes se trabaja a muy alta temperatura el F.Oíl y generalmente hay mala atomización.

**Hasta 36 S.S.U.** Atomización mecánica con toberas comunes (F.Oíl calefacción, Diesel Oíl y Gas Oíl).

**Toberas o pastillas de atomización** (en atomización mecánica).

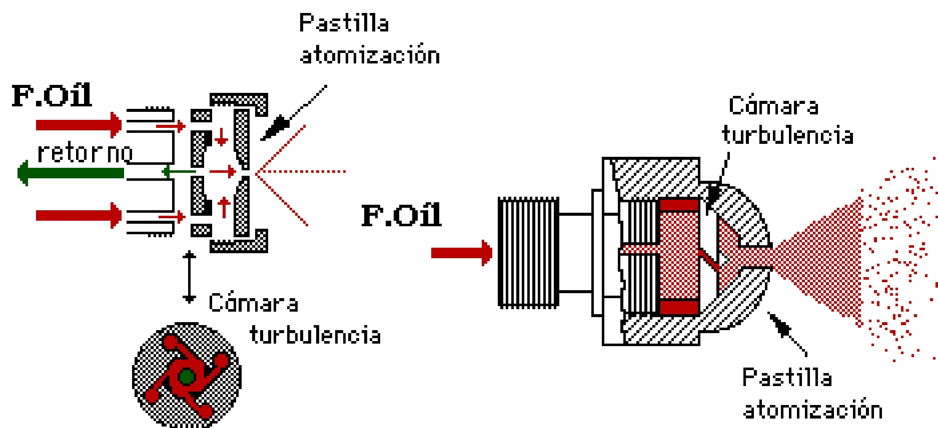
Generalmente se expresan sus características de la siguiente forma:

**Capacidad**..... en las toberas comunes (quemadores de atomización mecánica) se expresa en U.S.G. (Ejemplo: 10 U.S.G.), esto significa la capacidad horaria en Galones americanos (3,78 litros por galón), pero con una presión de 100 libras/pulgadas cuadradas (7 kg/cm2) con F.Oíl N´2 a 60ºF (equivale a Gas Oíl a 15,5ºC). Esta capacidad varía luego de acuerdo a la presión del combustible, la temperatura y el tipo de combustible en el quemador. A lo contrario de lo que se piensa, en los combustible más viscosos, a pesar que el sentido común parece indicar que pasaría con más dificultad (por Kg./hora), la misma tobera con la misma presión pasa más F.Oíl pesado (Kg/h) que F.Oíl calefacción, Diesel Oíl ó Gas-Oíl (Kg/h). En otros quemadores, las toberas (pastillas) y sus cámaras de atomización (turbulencia) son indicadas por un Nº y letras, que cada fabricante indica sus especificaciones.

Las capacidades de las toberas de atomización varían en relación de la raíz cuadrada de las presiones : sí a la presión P1 el quemador tiene un caudal de V1 U.S.G., a la presión P2 será V2 = V1 x Raíz cuadrada de P2/P1.

**Tipo de tobera según combustible:** hay toberas especiales para combustibles pesados, tienen grabados las letras H.O. (Heavy Oíl = aceite pesado) y un numero, que indica la presión más adecuada para el trabajo de dicha tobera, las toberas comunes no traen dicho numero de presión. Ejemplo H.O. 430 (es una tobera para F.Oíl que debe de operar a 430 libras/pulgada cuadrada o sea 30 Kg/cm2). Los valores normales son H.O. 200 y 430. Esta toberas están hechas con materiales más "duros" para trabajar con combustibles con más "impurezas". Estas toberas están probadas a la presión marcada (200, 430 etc. lb/#) con un combustible "pesado" a 66-77 S.S.U. de viscosidad , con una gravedad A.P.I. DE 34-36 a 60ºF (15,5ºC). Se prueban para ver su caudal a la presión de trabajo indicada en tablas, aunque el caudal impreso en U.S.G. --- es el nominal probado a 100 libras por pulgada cuadrada (7 Kg/cm2), con viscosidad 34-36 S.S.U. y gravedad A.P.I. entre 32-38 a 60ºF (15,5ºC), correspondiente a un F.Oíl Nº2 (Gas Oíl).

Las pastillas de atomización formadas por **caras planas entre la cámara de turbulencia y pastilla, deben "esmerilarse"** cada tanto (con pasta de esmeril fina y un "mármol" o vidrio grueso plano como alternativa) y asegurarse que **ambas caras tocan sus superficies perfectamente** (probando con azul de Prusia). Si estas caras planas no asentaran correctamente, las pérdidas de combustible fuera de las ranuras en la cámara de turbulencia no permitiría que se produzca la acción de giro en forma correcta, no dejando que la atomización sea adecuada. Además el material de confección de estos elementos deben ser de acero refractarios para que no se deformen con la alta temperatura que la misma soporta (las caras planas tienden a deformarse en alta temperatura, pero vuelven a quedar planas en baja, lo cual "engaña" al operador al probar las mismas con azul de Prusia). Es el croquis de la izquierda del siguiente dibujo (una pastilla de atomización mecánica con control de caudal por retorno del combustible, de manera de mantener la velocidad del combustible en la cámara de torsión, en donde el combustible toma el giro centrifugo que le permitirá salir por el orificio de la pastilla en forma atomizada, pero con trayectoria de cada "gotita" en una dirección recta que solo el aire primario y secundario cambiarán de trayectoria, el caudal varía debido al retorno que baja la presión de atomización pero no la calidad de la atomización, por supuesto hasta un cierto límite).

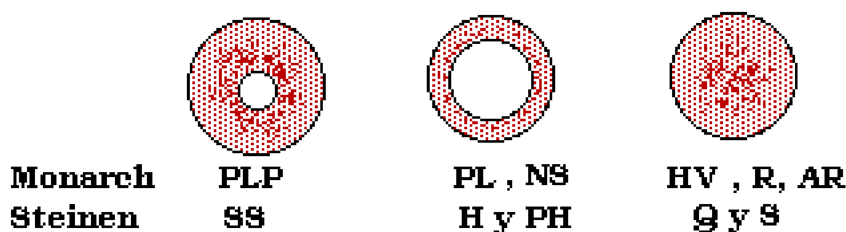



**Pastilla y cámara de turbulencia Tobera de quemador más común.**

**Forma del cono de pulverización:** las toberas están ejecutadas para que la forma del cono de atomización sea adecuada al tipo de hogar en que serán utilizados, estas formas podrán ser un simple cono, un cono con más intensidad de combustible en el centro, o un cono con la parte central hueca, otro será en forma de anillo, etc. Sus forma está indicada por letras que cada fabricante adopta según su oferta : por ejemplo : R (cono cargado al centro), NS (cono hueco al centro), AR (cono un poco menos cargado al centro), S (cono muy cargado al centro) H (un anillo parejo), PH (un anillo fino), SS (un anillo grueso), Q (un cono parejo) , etc. todos relacionados al código del fabricante.

El ángulo de atomización es el que forma el cono, un combustible cuanto más pesado, generalmente más ángulo de atomización requiere.

Cuando se pide la tobera se indica : La marca (Steinen , Monarch, etc.)., la capacidad en U.S.G. (número), el tipo de cono de atomización (R u otro) y el ángulo de atomización (las más comunes 45º, 60º, 90º , etc.) y si es H.O. (Heavy Oíl, o sea para combustible pesado) más la presión de trabajo un Nº (420, 300, 200. lb/#).




**FORMA DEL CONO DE ATOMIZACIÓN SEGÚN DENOMINACIONES**

**Presiones de trabajo en quemadores más comunes** (con toberas mecánicas)

Con F.Oíl pesado la presión de trabajo en el puntero o tobera deberá ser alta, ya que cuanto más alta la presión en general un combustible pesado atomiza mejor . Si la tobera no especifica una presión de trabajo, la presión normal podrá ser entre 22 kg/cm2 y 30 Kg/cm2, bajando un poco para el F.Oíl calefacción.

Con Diesel Oíl y con Gas Oíl las presiones tienden a ser más bajas , de 7 a 15 Kg/cm2

en general es suficiente. Cuidado con elevar demasiado la presión, el caudal de combustible aumenta y podemos pasarnos de "fuego".

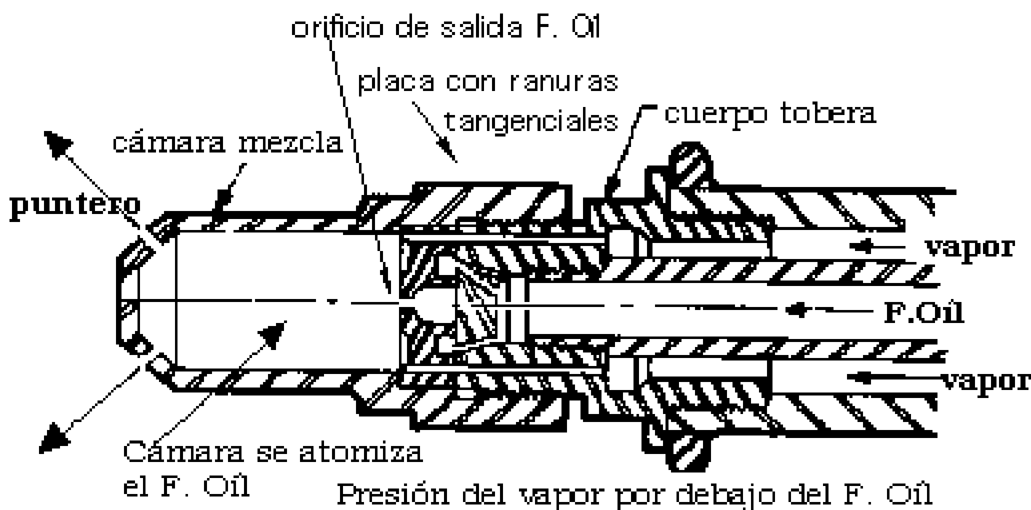
En quemadores con atomización a vapor o con aire comprimido, la presión del combustible en el puntero es generalmente más baja, podrá ser un máximo de 15 Kg/cm2, siendo normal que ésta varíe entre unos 4 Kg/cm2 y 12 Kg/cm2.

La presión del vapor de atomización depende del tipo de tobera, en algunos es un poco mayor a la presión del combustible y en otros es fija a un de "barrido" que podrá ser por ejemplo : entre 2,5 Kg/cm2 y 3,5 Kg/cm2 (no olvidar que éste vapor debe ser saturado seco, **no debe contener "gotitas" de agua o agua, hay que tener un buen separador de agua antes de la entrada a la reguladora de presión de vapor**).

**Una forma de saber si estamos pasados de fuego es medir la temperatura de chimenea, si los gases están más calientes que lo indicado por el fabricante o por el tipo de caldera, estamos pasados de fuego** (salvo que la caldera esté sucia de hollín o incrustada, ó un tabique de gases "perforado" en "corto-circuito").

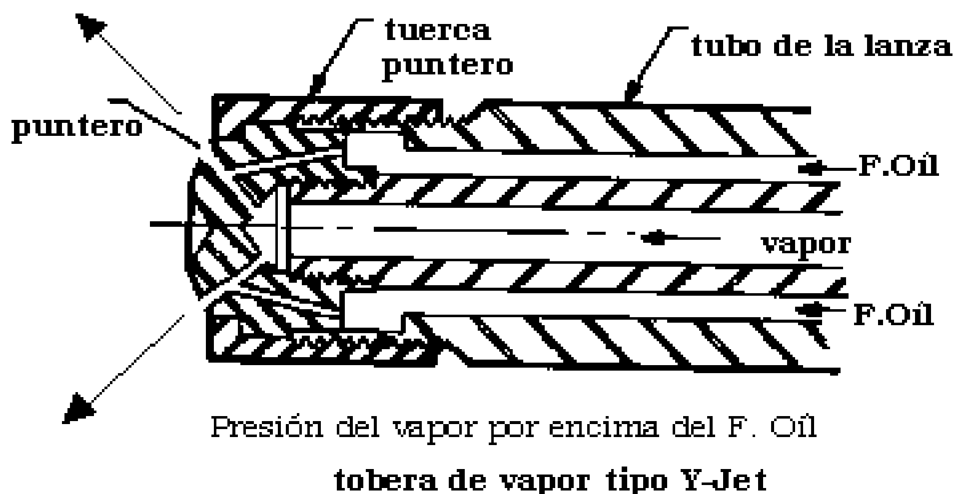
**ATOMIZACIÓN A VAPOR, LANZAS MAS COMUNES:**

**El puntero o lanza LVS de atomización a vapor** (eventualmente aire), **la función del vapor es "arrastrar" el F. Oíl atomizado en una cámara** (en la cual se produce una simple atomización mecánica) **de manera que no es necesario que el vapor esté por encima de la presión del F. Oíl** (por lo general la presión del vapor está entre 2 y 3 Kg/cm2). Este tipo de lanza puede trabajar con aire comprimido, como en el caso de la puesta en marcha (aunque por lo general se utiliza una lanza de menor capacidad o una lanza de atomización mecánica).




**tobera de vapor LVS**

**El puntero o lanza de atomización a vapor tipo Y-Jet, el vapor a mayor presión que el F. Oíl, "arrastra" al F. Oíl y lo atomiza directamente en la cámara de combustión.** (el vapor por lo general está entre 1,5 a 2 Kg/cm2 por encima de la presión del F. Oíl, variando la presión del F.Oíl entre unos 3 a 12 Kg/cm2). Este sistema no funciona adecuadamente con aire comprimido. Por esta razón en la puesta en marcha con la caldera fría, se utilizará una lanza de atomización mecánica.




**tobera de vapor tipo Y-Jet**

## 26- SUGERENCIAS PARA AHORRAR COMBUSTIBLE EN LAS PLANTAS QUE GENERAN VAPOR: PUNTOS A TENER EN CUENTA

**1-Baje la presión** (del vapor) **de trabajo en la caldera** (**o la temperatura del agua en una caldera de agua caliente**) lo más bajo posible que le permita ser utilizado el vapor en el proceso (cuidando que en algunos casos al bajar la presión de la caldera, se debe bajar la capacidad máxima de generación de vapor, debido a que se altera la circulación interna o hay arrastres de agua en el vapor).

**2-Utilice el quemador (aún con leña) lo más moduladamente posible:** en F.Oíl utilice quemadores modulantes o con llamas alternativas, regulando la llama más baja de manera que ésta no se apague en lo posible y que las llamas más altas no sobrepasen el consumo más elevado de vapor (que la repuesta sea suave). En leña, cargar la misma en períodos cortos, regular el aire evitando que la caldera corte por alta presión de manera que la combustión se ajuste a la producción de vapor.

**3-Ponga un termómetro en la chimenea y trate de mantener la temperatura lo más baja posible**, limpiando periódicamente las superficies de transferencias, especialmente el hollín (ó cenizas) del lado de los gases calientes. Del lado del agua: haga un buen tratamiento químico, limpie los barros periódicamente y mantenga libre de incrustaciones las superficies de transferencia haciendo una limpieza química y/o mecánica. Esta temperatura estará influenciada por el % de combustión, el exceso de aire y la presión de trabajo.

**4-Mantenga el exceso de aire para la combustión al mínimo necesario** (para evitar que se caliente aire que no entra en la combustión), pero logrando la combustión completa. En F.Oíl mantenga en la chimenea un leve humo color carmelita (caramelo), la llama anaranjada con las puntas levemente más oscuras completando la combustión antes de alcanzar los tubos (el $CO_2$ entre 13% y 15%). En leña los humos no dicen las condiciones de combustión y la observación de la llama es factible en la combustión directa solamente: que la misma llegue hasta la mitad del tubo del hogar, llenando siempre la boca del hogar con llama (en humo tubulares). En el gasógeno y en gases, la observación de llama no es una guía segura, es preferible medir los gases. (en leña el $CO_2$ aconsejable es entre 14% a 16%, $O_2$ entre 3,5% y 5,5%, ya que un $CO_2$ más alto generalmente va acompañado por la presencia de gases no quemados, verificando que se

encuentra del lado de exceso de aire comprobando la no presencia de CO, monóxido de carbono). O midiendo el %CO2 y %O2 (oxígeno) y utilizando un triángulo de OSTWALD. En gas natural, la observación de la llama es dificultosa, trate de medir el CO2%( en el entorno de los 10,5% de CO2) o medir el O2% (en el entorno del 3% de O2), **pero mida que no haya CO** (o un máximo de 400 ppm de CO).

**5-Comprobar en chimenea que no hay pérdidas por gases no quemados**. La presencia de gases no quemados es muy común en la combustión de leña y gases, esta se debe a problemas en la combustión o a la falta de aire. En estos casos, sólo la medición permite detectarlo. Esta pérdida puede ser muy importante. ( en leña hasta del 5-7% por cada 1% de CO en gases de chimenea).

**6-Mejore la condición de los combustibles.** Especialmente en leña, trate de quemar la leña con un bajo contenido de humedad (22% al 25%), en buenas condiciones de estacionamiento (no demasiada estacionada, con putrefacción, etc.).Vale la pena arreglar la "cancha" de estacionamiento.

**7-Sellado de todos los aires que puedan introducirse en la caldera que no entren en la combustión**. Con una vela o un mechero (candil) de kerosene o gasoil, revisar todas las juntas de tapas en la cajas de humos o mampostería para buscar las entradas de aire (la llama de la vela es succionada hacia la pérdida), calafateando dicha entrada con amianto en cuerda (elemento cuestionado) u otros. Estos aires se calientan y se llevan el calor por la chimenea, aparecen en el exceso de aire.

**8-Regule la depresión de aire en el hogar al menor valor posible** (en calderas con hogar a depresión). Ponga un tubo U con agua para medir la depresión (de vidrio, plástico, etc. conectado la cámara del hogar). Cuanto mayor sea la depresión, mayores serán las pérdidas por aires que entran fuera de la zona de combustión y por ésta.

**9-Mejore la aislación de la caldera y sus accesorios**. Casi todo puede ser aislado hasta cierto límite. Hay zonas que no deben ser aislados en demasía, ya que se podría levantar una temperatura muy alta en el interior, pudiéndose quemar por dicha razón: paredes de hogar refractarias, tapas en zonas de gases muy calientes, etc.

**10-Controle la cantidad de purga y utilice la purgas continua extrayendo de ésta el calor en un intercambiador**. Siempre es necesario un % de purga. La purga de fondo y de niveles son necesarias por seguridad y extracción de barros, su recuperación de calor es dificultosa, pero todo aquella purga de sales disuelta puede ser hecha por la purga continua, extrayendo el calor por medio de un intercambiador (para calentar el agua reposición u otros) en forma muy fácil.

**11-Recupere el máximo de condensado de retorno**. Es agua pura, lo cual disminuye la necesidad de purgar. Es agua caliente, a la cual hay que agregar menos calor para vaporizar (si es necesario aumente la altura del tanque de alimentación para que la bomba no "patine" -cavitación-).

**12-Recupere el vapor de "flash"**. Cada Kg. de vapor de flash que se recupera es un Kg. de vapor menos a generar por la caldera.

**13-Aisle cañerías de vapor, condensado, accesorios y equipos que deban ser calefaccionados**. La aislación debe ser adecuada en calidad y en espesor, así como la terminación de la protección de la misma (chapa, fibra, material, etc). Los accesorios: válvulas, reguladores, etc. son lugares de mucha pérdida, se pueden aislar con "mantas" de aislación que son quitadas en las reparaciones o mantenimientos. La aislación más barata no es la más económica.

**14-Baje la temperatura en los procesos y los tiempos, todo lo que se pueda**. Esto redundará en un menor consumo de vapor.

**15-Ponga instrumentos de control :** termómetros, manómetros, caudalímetros, etc. Estos permitirán un control visual y se podrán fijar los límites en cada caso.

**16-Automatizar en lo posible.** La automatización controla más eficazmente estos

límites de utilización para el control de la energía, que al teniendo un ajuste adecuado, permite la utilización ajustada de la energía a las necesidades del proceso.

**17-Verifique que la trampas de vapor son las adecuadas y funcionan correctamente**. Las trampas de vapor deben ser cuidadosamente estudiadas, las más baratas a veces son las más caras en su utilización. Cada trampa tiene un uso más conveniente, pero hoy en día debe ser contemplado el costo por su uso más que por su costo inicial. El mantenimiento de las mismas influyen en el consumo de vapor. Hay trampas que al funcionar consumen energía: son "derrochadoras".

**18-Ponga visores de condensado en la trampas**. Las trampas deben ser controladas diariamente por medio de visores. En caso de no tener visores instalados, es posible hacer un chequeo con un termómetro de superficie o un probador de trampas (acústico o térmico).

**19-Intercambiadores.** Estos deben ser adecuados para el uso deseado, ya que un tiempo excesivo en lograr el efecto deseado, la pérdida de condensado, la necesidad de usar presiones más altas, etc. provocan pérdidas mayores.

**20-La instalación en sí misma**. Las cañerías con trazados inadecuados, caídas no contempladas, excesos de platinas, etc. también son causas de pérdidas de calor.

**21-Calidad del agua de reposición de caldera**. Debemos buscar el agua de menor contenido de sales, ya que esto permite trabajar con menor cantidad purgas (ahorro de calor y agua), menos gastos en el tratamiento (sal en el ablandador, productos químicos internos), menos problemas en el vapor (por descomposición de sales). Las aguas superficiales ( en general OSE) son mejores generalmente que las aguas de los pozos (que aparentemente parecen más baratos en su utilización).

**22-Recuperadores de calor**. La instalación de recuperadores de calor puede ser una manera interesante de ahorro: temperatura en exceso en chimeneas, temperatura de aguas residuales, temperatura en venteos de equipos, extracciones de aires o gases calientes, etc.

**23-Forma de operar**. Siempre que pueda, trabaje con una caldera en vez de dos, con 2 en vez de 3, etc. Con la caldera que trabaje próximo al 80% de su capacidad, etc.

**24-Diseño**. Muchos equipos (calderas, intecambiadores, etc.) fueron diseñados con criterios distintos a los actuales (materiales, construcción, costo combustible, etc), que a veces una caldera nueva o equipo nuevo **se amortiza en pocos meses con el ahorro de combustible**.

**25-Tenga el instrumental de mano necesario para chequeo**. Medidores de gases de combustión, termómetros portátiles para inmersión, superficie, etc., con el entrenamiento de las personas involucradas.

**26-Entrenamiento y toma conciencia**. **Es fundamental la toma de conciencia para lograr el ahorro energético y para esto se debe entrenar a las personas: dándoles el conocimiento necesario y el entrenamiento práctico adecuado. En algunos casos, contratando personas ajenas a la empresa** (a veces "nadie es profeta en su tierra") **de reconocida solvencia en el tema, que reúna condiciones didácticas y que pueda atraer la atención de la gente.**

## 27-TABLAS, DATOS ÚTILES y CÁLCULOS PRÁCTICOS

**TABLA DE VAPOR SATURADO**

| presión | temperatura | calor total | calor agua | calor vapor | volumen |
|---|---|---|---|---|---|
| **ATA** | **Cº** | **Kcal/Kg.** | **Kcal/Kg.** | **Kcal/Kg.** | **m3/Kg.** |
| 0.05 | 32.55 | 611.3 | 32.55 | 578.9 | 28.7300 |
| 0.20 | 59.67 | 623.1 | 59.61 | 563.5 | 7.7930 |
| 0.50 | 80.86 | 631.6 | 80.81 | 550.8 | 3.3010 |
| 1.00 | 99.09 | 638.5 | 99.12 | 539.4 | 1.7250 |
| 2 | 119.62 | 645.8 | 119.87 | 525.9 | 0.9016 |
| 3 | 132.88 | 650.3 | 133.40 | 516.9 | 0.6166 |
| 4 | 142.92 | 653.4 | 143.60 | 509.8 | 0.4706 |
| 5 | 151.11 | 655.8 | 152.10 | 503.7 | 0.3816 |
| 6 | 158.08 | 657.8 | 159.30 | 498.5 | 0.3213 |
| 7 | 164.17 | 659.4 | 165.60 | 493.8 | 0.2778 |
| 8 | 169.61 | 660.8 | 171.30 | 489.5 | 0.2448 |
| 9 | 174.53 | 662.0 | 176.40 | 485.6 | 0.2189 |
| 10 | 179.04 | 663.0 | 181.20 | 481.8 | 0.1981 |
| 11 | 183.20 | 663.9 | 185.60 | 478.3 | 0.1808 |
| 15 | 197.36 | 666.6 | 200.60 | 466.0 | 0.1343 |
| 20 | 211.38 | 668.5 | 215.8 | 452.7 | 0.1016 |

Esta tabla esta dada para la presión absoluta en ATA (atmósferas técnicas absolutas, 1 AT: atmósfera técnica = 1 Kg/cm2 ) para utilizarla a la presión relativa del manómetro debemos de sumarle la presión de la atmósfera, si la presión en el manómetro (relativa) está dada en Kg/cm2 debemos sumarle 1,033 Kg/cm2 y nos dará la presión en ATA, pero si la presión del manómetro esta dada en Bar (relativa), debemos a la presión del manómetro multiplicarla por 1,019 ( 1 Bar = 1,019 Kg/cm2 o AT ) y al resultado sumarle 1,033 (1 atmósfera= 1,033 AT).

Ejemplo: presión caldera 7 Bar ...7x 1,019 =7,133 AT: atmósferas técnicas relativas
7.133 + 1, 033=8,166 ATA ( atmósferas técnicas absolutas)
Leer la tabla en 8 ATA (dará un valor aprox.)

Ejemplo: presión caldera 100 Libras/pulgadas2 relativas.... como una
1AT (atmósfera técnica) =14,22 Lb/Pulg.2
100/14,22=7,03 AT ....... 7,03 +1,033 = 8,063 ATA (atmósferas técnicas absolutas).
En este caso se puede tomar como 8 ATA para buscar en la tabla.

**Cual será el calor por Kg. que nos proporcionará el vapor a esta presión** (8 ATA) **y su temperatura?**
Es igual a 489 Kcal . por Kg. y su temperatura 169ªC, el condensado saldrá a 169ºC si utilizamos un sistema de trampa de vapor que mantenga drenado los intercambiadores en forma total (trampa de flotador), significa que el condensado reevaporizará al bajar su presión a 1 atmósfera ( 1,033 Kg./cm2 o ATA) y este calor será igual 171,3 - 100 = 71,3 Kcal /Kg de condensado, calor que se podrá aprovechar instalando un recuperador de "flash".

**Conversión de presiones**

Las presiones de los manómetros son generalmente relativas, para hallar la presión absoluta, hay que sumar la correspondiente a la atmósfera dada para las mismas unidades en que se esta leyendo el manómetro. A nivel del mar tomamos:

Lectura en Kg/cm2 relativa sumar 1,033 = Kg/cm2 absolutos.

Lectura en Lb/pulg.2 relativa sumar 14.7 = Lb/pulg2 absolutas.

Lectura en Atmósferas técnicas relativas (AT) sumar 1,033 = ATA (atmósferas técnicas absolutas, recordar que 1 AT= 1 Kg/cm2 ).

Lectura en Bar relativas sumar 1,013 = Bar absolutas.

**Conversión de presiones de distintas unidades.**

| Para convertir | multiplicar | dará en |
|---|---|---|
| Kg/cm2 ....................... | x **14,22** | =..........Lb/pulg.2 |
| Lb /pulg.2..................... | x **0,07** | =......... .Kg/cm2 |
| A (atmósferas)................ | x **1,033** | =...........Kg/cm2 ...AT (atmósferas técnicas) |
| Bar ................................ | x **1,019** | =..........Kg/cm2 |

**Temperaturas y sus conversiones**

La temperatura puede estar dada en grados centígrados (ºC) ó en grados Fahrenheit (ºF), para hacer la conversión de unidades haga las siguientes operaciones .

Grados ºF a grados ºC ......a los ºF réstele 32, a esta diferencia multipliquela por 5 y al resultado divídalo por 9, el resultado serán grados ºC.

O sea lo que Ud. hizo es **Cº= 5/9 x (Fº - 32)**

Grados ºC a grados ºF........... a los ºC multipliquemos por 9 y al resultado divídalo entre 5 , a este resultado súmele 32 y el resultado serán grados ºF.

O se lo que Ud. hizo es **ºF= 9/5 x ºC + 32**

**Comentario**: el 0ºC de los grados ºC corresponde a +32 º F y el 0ºF grado de ºF corresponde a -17,7ºC ( menos -17,7 ºC o sea por debajo del cero ºC o punto de fusión del hielo).

Medidas de temperaturas absolutas:

Grados Kelvin ............. ºC + 273 = ºK (temperatura absoluta en ºC)

**Medidas**

**Lineales**

1 m. (metro) = 10 dm (decímetro)=100 cm (centímetro)=1000 mm.(milímetro)
1 yarda (yard)= 3 pié (feet) 1 pié (foot)= 12 pulgadas (inch)
1 pulgada (inch) = 0,0254 m.(metros )= 25,4 mm.(milímetros)
1 Pie (foot) = 0,3048 m. (metros) = 30,48 cm (centímetros)

**Superficie**

1 m2.(metro cuadrado) = 100 dm2 ( decímetro cuadrado)=10.000 cm2
Pulgada cuadrada (In2 , Square inch) = 6,4516 cm2 ( centimetros cuadrados)
Pie cuadrado( ft2 , Square foot) = 929,03 cm2 (centímetros cuadrados)

**Volumen**

1 m3 (metro cúbico)= 1000 dm3 ( decímetro cúbico) = 1000 Ltr.(litro).
1 m3.= 1.000.000 cm3 ( centímetro cúbico)
1 Pulgada cúbica (in3) =16,3871cm3
1 pie cúbico ( ft3 ) = 28,317 dm3
1 galón americano (U.S. gal)= 3,7854 Ltr. (litros)
1 galón imperial ( U.K. gal ) = 4,5461 Ltr. (litros)

1 barril de petróleo (bbl , U.S. barrell) = 158,987 Ltr.( litros)
1 pinta americana (U.S. pt) = 0,4732 Ltr. ( litros)
1 cuarto americano (U.S. qt) = 0,9464 Ltr. (litros)

**Masa** (peso)
1 tonelada = 1000 Kg ( kilogramos)=1000.000 g. (gramos)
1 grano (grain=gr) =0,0 648 g. = 64,799 mg ( miligramos)
1 libra (lb , pound) = 7000 grano = 0,453 Kg
1 Kg. (kilogramo) = 2,205 Lb (libras, pound)
1 onza (ounce) = 28,350 g. (gramos)
1 Libra ( lb, pound)= 16 oz ( onzas) = 453,592 g. ( gramos)

**Presión**
1 Kg/cm2 = 0,98066 Bar =0,96784 Atmósfera =735,514 mm.mercurio
= 10 m. agua = 98066 Pascal (S.I.) = 14,22 Lb/pulg.2
1 Atmósfera normal =1,01325 Bar =760 mm.mercurio = 10,3323 m. agua
= 101.325 Pascal (S.I.) = 14,7 Lb/pulg.2

**Potencia**
1 Kw (kilovatio) = 1,341 H.P. (Horse power-caballo de fuerza)
1 H.P.(caballo fuerza)= 0,7457 Kw (kilovatio)

**Medidas de calor**

Los americanos e ingleses utilizan el BTU (British thermal unit) que equivale al calor necesario para subir 1 ºF la temperatura de 1 Libra (Pound) de agua.

Nosotros usamos normalmente la Kcal ( Kilo-caloría ) que equivale al calor necesario para subir 1ºC la temperatura de 1 Kg.(Kilogramo o litro) de agua.

Como el Kg.= 2, 2046 Libras ( Pounds) y ºC=5/9x(ºF-32), podemos establecer las siguientes conversiones.

1 BTU = 0,252 Kcal. y 1 Kcal = 3,968 BTU por lo que para convertir:
**BTU en Kcal............BTU x 0,252 = ............Kcal.**
**Kcal en BTU............Kcal x 3,968 =...............BTU**

Comentario: También se están usando otras formas de expresión, unidades estas que están referidas a unidades de tiempo, que tienen su equivalencias con estas:
vatio/hora = 3,4129 BTU = 0,860 Kcal ó 1 Kw/h=860 Kcal.
1 vatio (watts)= 1 Joule ó 1 Kw/h = 3,6 M J (mega-Joule, siendo mega=1.000.000)
También se usa la Therm (U.S.A.)....**1 THERM = 100.000 BTU** (25.200 Kcal.)

**Medidas de transmisión del calor**

Como la transmisión del calor esta referida a una superficie determinada, en un tiempo determinado y la diferencia de temperatura esta establecida en ºF ó ºC., tendremos las siguientes equivalencias.

1 B.T.U./ pie2. h..ºF ( 1 B.T.U. por pie cuadrado por hora por ºF) = 4,88 Kcal/m2.h.ºC (Kilocaloría por m2 de superficie por hora y por ºC)

1 Kcal/m2.h.ºC ( 1 Kilocaloría por m2 de superficie por hora y por ºC) = 0,204816 B.T.U./pie2 . h..ºF ( B.T.U. por pie cuadrado por hora por ºF)

1 Kcal/m2 h ºC = 1,163 Wh/m2 ºK (Wh=vatio-hora) (ºK=grado Kelvin)

**Medidas de conducción del calor**

La conducción de calor a través de un cuerpo esta referida a una determinada sección, a un determinado largo del pasaje de calor, a un tiempo determinado con un diferencial de temperatura establecido.

1 B.T.U./pie2 . h..ºFx pie ( 1 B.T.U. cada pie cuadrado , por hora por ºF y por pie) = 1,488 Kcal/m2.h.ºC x m (Kilocaloría cada m2 de superficie , por hora, por ºC y por metro)

1 Kcal/m2.h.ºC x m ( 1Kilocaloría cada m2 de superficie por hora, por ºC y por metro)

= 0,672 B.T.U./pie2 . h..ºFx pie ( B.T.U. cada pie cuadrado, por hora, por ºF y por pie)
1 Kcal/ m h ºC = 1,163 Wh/ m ºK (Wh=vatio-hora)

**Calor necesarios para calentar 1ºC a 1 Kg. de :** ( Cp=Kcal/KgºC )

| | | |
|---|---|---|
| 1 Kg. de agua (1 Ltr. a 4ºC )..... | 1 | Kcal./KgºC |
| 1 Kg. hierro o acero ......... | 0,11 | Kcal./KgºC |
| 1 Kg. de cobre.......................... | 0,094 | Kcal/Kg.ºC |
| 1 Kg. aluminio............................. | 0,216 | Kcal/KgºC |
| 1 Kg. F. Oíl................................. | 0,47 | Kcal/KgºC |

Esto lo llamamos calor específico de cada sustancia ( Cp) a presión constante.
1 Kcal/KgºC = 4,1868 KJ/KgºK (kilo-Joule por Kg. por Cº)

**Conducción del calor por los siguientes elementos:**

| | | |
|---|---|---|
| Acero............................ | 40 a 50 | Kcal/ m h ºC |
| Cobre............................. | 320 | Kcal/ m h ºC |
| Aluminio.......................... | 180 | Kcal/ m h ºC |
| Vidrio............................. | 0,18 | Kcal/ m h ºC |
| Lana de vidrio................. | 0,03 | Kcal/ m h ºC |
| Lana de amianto............. | 0,05 | Kcal/ m h ºC |
| Poliuretano expandido..... | 0,035 | Kcal/ m h ºC |

Vemos que los materiales aislantes conducen menos el calor.

El amianto, algunos tipos ya prohibidos (como el "azul", otros tipos cuestionados) por cancerígenos (sus fibras inhaladas pueden producir varios tipos de cáncer).

**Transmisión del calor para calefacción :**

La transmisión de calor para calefacción estará influida por la características del fluido que suministra el calor y del que lo recibe, ya que el propio fluido forma una película que hace mayor o menor el pasaje de calor (esta película depende de la agitación o velocidad, de la viscosidad, etc.). El material de las "serpentinas" influye en forma relativa, siendo más importante a tener en cuenta a veces la limpieza de las misma ( incrustaciones o costras). La llamaremos **U** (Kcal/m2 h ºC)

Serpentinas calefacción **sumergidas en agua** . (valores prácticos)

| | | |
|---|---|---|
| Baja presión de vapor, circulación **natural** ....... | 488 | Kcal/m2 h ºC |
| Alta presión de vapor, circulación **natural** ......... | 976 | Kcal/m2 h ºC |
| Baja presión de vapor, circulación **forzada**....... | 976 | Kcal/m2 h ºC |
| Alta presión de vapor, circulación **forzada**......... | 1464 | Kcal/m2 h ºC |

Calefacción de **aceites combustibles** (valores prácticos)

Circulación **natural**, presión media de vapor

| | | |
|---|---|---|
| Aceites livianos ...................... | 145 | Kcal/m2 h ºC |
| Aceites pesados ................... | 70-95 | Kcal/m2 h ºC |
| Grasas................................ | 24-45 | Kcal/m2 h ºC |

Circulación **forzada**, presión media de vapor

| | | |
|---|---|---|
| Aceites livianos..................... | 480 | Kcal/m2 h ºC |
| Aceites medios...................... | 290 | Kcal/m2 h ºC |
| Aceites pesados..................... | 140 | Kcal/m2 h ºC |
| Melazas................................ | 70 | Kcal/m2 h ºC |
| Grasas.................................. | 45 | Kcal/m2 h ºC |

**Q= U x A x (Tv - Tl )** Q= Kcal necesarias para calefaccionar y es igual a

Q=Kg/h x Cp x ( T2- T1) es la cantidad por hora de producto a calentar (Kg/h) por la diferencia ºC entre la temperatura que entra (T1) y la que sale (T2) por la cantidad de calor necesaria para calentar 1ºC/Kg o sea Cp ) , U = Kcal/m2 h ºC tabla anterior, Tv= ºC vapor (sacar de la tabla con la presión del vapor) Tl = ºC del líquido (es la temperatura del líquido a calentar Tl= (T2+T1)÷2 ) . A= a la superficie en metros cuadrados ( m2) de calefacción.

Si queremos calcular A , superficie de calefacción **A= Q/ [U x (Tv-Tl)]** Estos valores serán aproximados, dependen de la forma relativa de las serpentinas respecto al movimiento del líquido, a la circulación del vapor y drenaje de condensado.

En algunos casos se tomará la media logarítmica al calcular el ΔT ( diferencial de temperaturas) en vez de la media matemática de las temperaturas.

Med. matemáticas[ ( Tv-T1)+(Tv-T2)]÷2= [Tv-(T2+T1)÷2]=ΔT vapor-líquido

Med.logarítmicas[(Tv-T1)-(Tv-T2)]÷{2,3xLog.[(Tv-T1)/(Tv-T2)]}=ΔT media logarítmica.

La diferencia que se establece al utilizar estos ΔT (diferencial de temperatura) en los casos prácticos no es importante. **Ejemplo**: Un líquido (agua , Cp = 1 Kcal/Kg.Cº ) entra a 20ºC y es calentado a 80ºC en 1000 Kg/hora y se utiliza vapor a 1 Kg/cm2. (temperatura 120ºC), calcular superficie de calefacción sin agitación (U = 488 Kcal/m2 h ºC) . Calculando : ΔT matemáticas = 70ºC y ΔT logarítmica = 65,5ºC

Como se ve hay una pequeña diferencia entre ambos valores (ΔT) del salto de temperatura entre el vapor y el agua (en la práctica tomar la diferencial media matemática es suficiente). A= 1000 x 1 x(80-20)÷(488x 70)= 1,8 m2 aprox.

**Conversiones química del agua.**

La dureza del agua, alcalinidad y otros valores (excepto PH) están referidos normalmente a partes por millón (ppm), esto significa una unidad de algo en un millón de unidades equivalentes .Ejemplo : 1 gramo en un millón de gramos, como un metro cúbico de agua pesa aproximadamente un millón de gramos (depende de las sales que contenga y su temperatura), podríamos decir que 1 ppm es aproximadamente igual a 1 gramo por metro cúbico de agua o 1 milésima de gramo (1 miligramo) en 1 litro de agua que pesa aprox. 1 millón de milésimas de gramo (1 millón de miligramos) o sea que podríamos decir que 1 ppm es igual a 1 miligramo por litro (mg/Ltr.).

La otra base para la conversión es que para comparar las sustancias químicas se toma de base una sustancia química patrón, cuando nos referimos a ppm generalmente la sustancia a la cual nos referimos es al Carbonato de Calcio ($CO_3Ca$), de lo contrario debemos expresar a que sustancia esta referida dicha medida . En el caso de los cloruros se prefiere como referencia al ion cloruro ($Cl^-$).

Veamos las equivalencias entre las diferentes formas de expresión:

1 Grano por galón U.S = 17,1 partes por millón (ppm). (1 grano=0,0648 gramo)

1 Grano por galón Imperial= 14,2 partes por millón ( ppm)

El galón U.S.(americano) =3,785 Ltrs., galón Imperial (británico)=4,545 Ltrs.. (El galón imperial (británico) se puede expresar como U.K.gal.)

1 ppm = 0,001 gramo/Ltr.=0,0584 Granos/galón U.S.=0,07 Granos/galón Imp.

1 ppm = 0,1 Gº Francés = 0,056 G.º Alemán = 0,07 Gº Inglés (gr/U.K.gal )

Ejemplo : Dureza Total 80 ppm como $CO_3Ca$ (carbonato de calcio) ...Que el calcio y el magnesio presente en el agua expresado como $CO_3Ca$ equivale a 80 gramos por m3. aproximadamente.

**Conductividad en el agua:** (estas relaciones están referidas a una celda de electrodos

de 1 cm2 a un distancia de 1 cm). En caso que se dé la conductividad en S/m (siemens por metro, una celda de 1 m2 a una distancia entre placas de 1 m.) se debe dividir entre 100 para calcular el equivalente a S/cm (dado que la celda es de 100 cm/100x100 cm2= 1/100 cm, considerando que L en (S/m)= 1/R x m/m2, siendo R la resistencia específica)

**Ω=Ohm 1/Ω=mho S=siemens**
μ=micra= 0.000.001 m=mili=0,001 M=mega=1.000.000
1 μS/cm = 1/μOhm/cm = 1 μmho/cm
1μS/cm = 0,001 mS/cm = 0,000.001 S/cm = 1 μMho/cm
1 μS/cm = 1/ (M Ω . cm)

**Resistividad en el agua:**
μ=micro= 0.000.001 Ω=Ohm m=mili=0,001 K=kilo=1.000 M=mega=1.000.000
1 MΩ.cm = 1.000.000 Ω.cm = 1.000 KΩ.cm
1 MΩ.cm= 1/(μS/cm)=1/(μmho/cm)

## 26-HIDRÁULICA

**Pérdidas de carga en las tuberías** (agua a temperatura ambiente)

Pérdidas de carga en metros de agua para 100 metros de tubería retilínea no incrustada

| Caudal lit./min | 8 | 16 | 33 | 50 | 66 | 83 | 100 | 116 | 133 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Caudal en m3/h | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Diámetros | | | | | | | | | |
| 1/2” 13 mm | 9 | 36 | 143 | - | - | - | - | | |
| 3/4“ 19 “ | 2,80 | 11,5 | 39 | - | - | - | - | - | |
| 1“ 25 “ | 0,55 | 2,18 | 8,30 | 17,6 | 29,5 | 44,5 | 64 | 87 | 114 |
| 11/4“ 32 “ | 0,16 | 0,63 | 2,40 | 5,10 | 8,55 | 12,9 | 18,3 | 23,8 | 29,8 |
| 11/2“ 38 “ | - | 0,27 | 1 | 2,15 | 3,60 | 5,40 | 7,70 | 10 | 12,5 |
| 2“ 50 “ | - | - | 0,22 | 0,49 | 1,19 | 1,76 | 2,52 | 3,40 | 4,27 |
| Caudal en m3/h | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Diámetros | | | | | | | | | |
| 2” 50 mm | 6,30 | 22,3 | 50 | - | - | - | - | - | - |
| 21/2” 70 “ | 1,23 | 4,42 | 9,50 | 16,1 | 24,6 | 34,4 | 45,3 | - | - |
| 3” 80 ” | 0,65 | 2,30 | 4,93 | 8,45 | 12,9 | 18 | 23,7 | 30,3 | 38,4 |
| 4” 100 ” | - | 0,75 | 1,62 | 2,75 | 4,20 | 6,95 | 7,90 | 10,1 | 12,8 |

| Caudal en m3/h | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Diámetros | | | | | | | | | |
| 6” 150mm | 0,57 | 2,05 | 4,35 | 7,48 | 11,4 | 16,4 | 22,4 | 29,2 | 37 |

**Pérdidas de carga en los accesorios**
expresadas en metros de cañería del mismo diámetro

| Diámetros en pulgadas | 11/2" | 2" | 21/2" | 3" | 4" | 5" | 6" |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Válv. globo | 13,1 | 16,8 | 21,0 | 25,6 | 36,6 | 42,7 | 51,8 |
| Válv.completa abierta*** | 0,15 | 0,20 | 0,30 | 0,35 | 0,45 | 0,60 | 0,80 |
| Válvula de pié | 4 | 5 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 |
| Filtro de aspiración | 0,35 | 0,45 | 0,70 | 0,80 | 1 | 1,30 | 1,60 |
| Codo a 90º (fig 1) | 1,50 | 2 | 3 | 3,50 | 4,50 | 6 | 7,60 |
| Codo a 60º (fig.2) | 0,75 | 1 | 1,5 | 1,75 | 2,25 | 3 | 4 |
| Codo a 45º (fig.2) | 0,50 | 0,75 | 1 | 1,25 | 1,50 | 2 | 2,50 |
| Unión en T (fig.3) | 0,30 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1 | 1,30 | 1,60 |
| Unión en T (fig.4) | 1,50 | 2 | 3 | 3,50 | 4,50 | 6 | 7,50 |
| Unión en T (fig.5) | 2 | 2,50 | 3,50 | 4,50 | 5,50 | 7 | 9 |

*** válvula esclusa o esférica de pase total

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cañerías en ángulos vivos : | | | | | | | |
| a) aspiración (fig.6) | 1 | 1,50 | 2,25 | 2,50 | 3,50 | 4,50 | 5,75 |
| b) impulso (fig.7) | 1,25 | 1,75 | 2,50 | 3 | 4 | 5 | 6,50 |
| Dimensión brusca de diámetro (fig.8) | | | | | | | |
| a) d=0,4 d1 | 0,50 | 0,76 | 1 | 1,25 | 1,50 | 2 | 2,50 |
| b) d=0,6 di | 0,40 | 0,50 | 0,76 | 1 | 1,25 | 1,50 | 2 |
| c) d=p.8 d1 | 0,20 | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,75 | 1 |
| Aumento brusco de diámetro (fig.8) | | | | | | | |
| a) d=0,4 d1 | 1 | 1,25 | 1,75 | 2 | 2,75 | 3,50 | 4,50 |
| b) d=0,6 d1 | 0,50 | 0,75 | 1 | 1,25 | 1,50 | 2 | 2,50 |
| c) d=0,8 d1 | 0,20 | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,75 | 1 |

**Figuras correspondientes a la tabla anterior de accesorios**

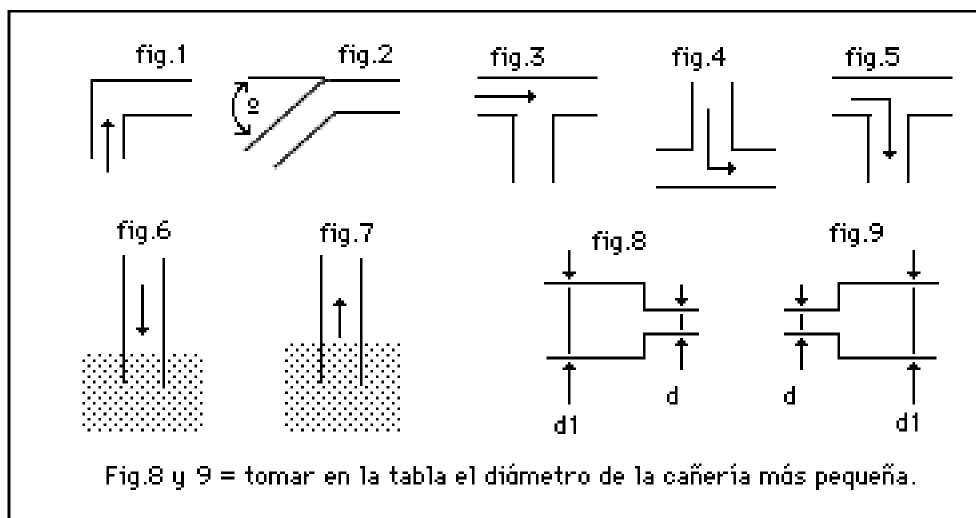


Fig.8 y 9 = tomar en la tabla el diámetro de la cañería más pequeña.

Las tablas anteriores nos permiten calcular aproximadamente la pérdida de carga de una cañería y sus accesorios, por ejemplo : para ello mida los metros de cañería y sumele los metros equivalentes a cada accesorio (según el diámetro de la cañería y los distintos accesorios con sus forma en particular y las válvulas consideradas totalmente abiertas), con este metraje "equivalente" y entrando a las tablas de caudales (litros por minuto o metros cúbicos por hora) y la medida del diámetro nominal de la cañería, estas tablas dan las pérdidas en metros de columna de agua (cada 10 m.c.a. equivalen a 1kg/cm2) podemos sacar la pérdida de carga en 100 metros de cañería a dicho caudal, lo cual la dividimos por 100 y tendremos la pérdida por metro, a este valor lo multiplicamos por los metros "equivalentes" calculados y el resultado nos dará aproximadamente la pérdida de presión en metros de columna de agua (m.c.a.), para una cañería limpia (si la misma estuviera incrustada se debe de considerar un aumento de la pérdida de carga de un valor superior cuanto mayor sea la incrustación).

Observese la gran pérdida de carga de las válvulas de globo (las válvulas de globo son las que cierran como un "pistón" o "plato" sobre un asiento), también en las pérdidas provocadas por succión o descargas con la cañería (fig. 8 y 9) y los los codos a 90º. Por lo cuanto se diseñe un sistema de cañerías, especialmente a la succión de las bombas se deben de tener muy encuenta la instalación de accesorios adecuados, ya que una mala succión hará cavitar o perder succión de la bomba.

**Potencia absorbida por una bomba:**

P= (H x Q x p )/ (270 x n ) en CV ó = (H x Q x p)/ (368 x n) en Kw

H= altura manométrica en metros (m.c.a.)
Q= caudal en metros cúbicos por hora (m3/h)
p= peso específico del líquido en Kg/dm3
n=rendimiento efectivo de la bomba

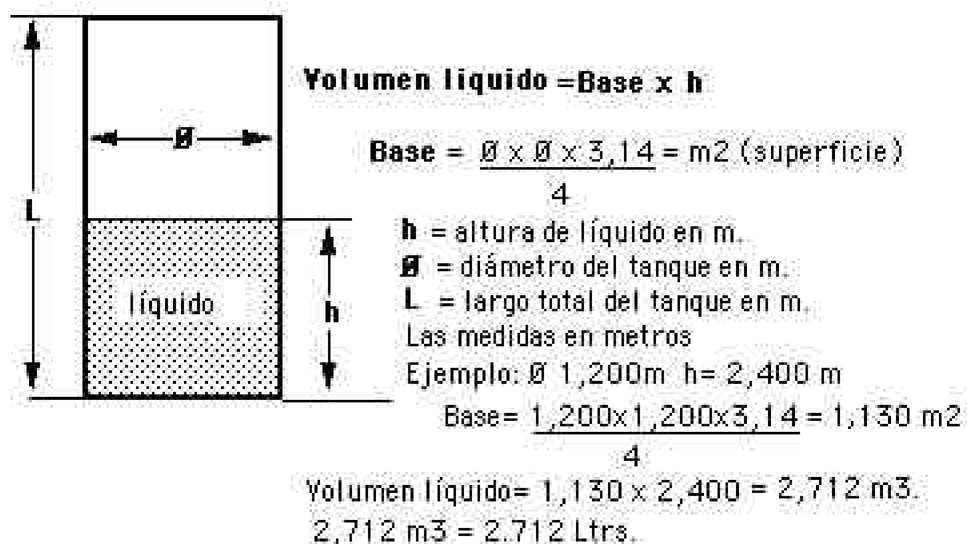
Recordar que cuando la bombas succionan agua más caliente de lo normal (entre 5ºC y 20ºC, cuya aspiración práctica es entre 7 y 8 m), debido a la presión de vapor del agua, se debe descontar de la altura de la capacidad de aspiración de la bomba los siguientes :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatura (Cº) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Deducir ( en metros) | 0,4 | 0,7 | 0,12 | 1,9 | 3,1 | 4,7 | 7,1 |

Cuando el agua es para alimentación de calderas y está más de 60ªC conviene que el tanque esté por encima de la bomba, cuanto más caliente más próximo a los **5 m**.

## CÁLCULOS DE TANQUES CILÍNDRICOS :

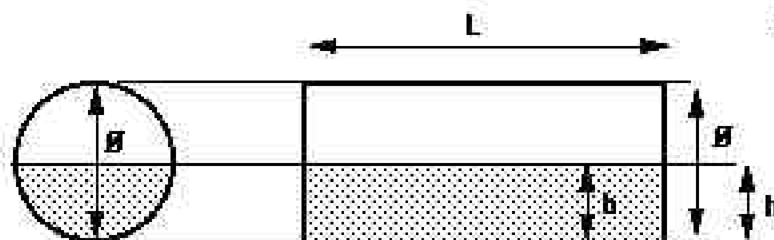
Cuando calculamos las Eficiencias, así sea el agua de alimentación, o un tanque de condensado, el de combustible, **necesitamos saber el líquido que queda en el tanque a cierto nivel** (en el caso de los combustibles por lo general hay reglas que se han trazado, midiendo con agua controlada al llenar el tanque por primera vez, pero a veces estas reglas no están correctamente calibradas, por lo que conviene hacer un cálculo). Veremos los tanques cilíndricos: verticales y horizontales.




**El cálculo en un tanque cilíndrico horizontal** es más complejo matemáticamente, por eso hemos calculado una tabla, que entrando con el **diámetro Ø del tanque en metros** y la **altura del líquido h en metros**, nos dá el líquido en un tanque de **1 metro de largo**, que luego multiplicaremos por los metros **L** del tanque real, **este valor será el líquido que habrá quedado en el tanque.** Cuando se ponga las medidas, se utilizarán los metros y estarán representados hasta las 3 cifras después de la coma (el tercer número indicará la aproximación de los milímetros).

## TABLA PARA CALCULO DEL LIQUIDO EN TANQUES HORIZONTALES

| h | Ø 1.100 | 1.200 | 1.300 | 1.400 | 1.500 | 1.600 | 1.700 | 1.800 | 1.900 m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.100 | 0.043 | 0.045 | 0.047 | 0.049 | 0.051 | 0.052 | 0.054 | 0.056 | 0.057 |
| 0.200 | 0.118 | 0.124 | 0.130 | 0.135 | 0.140 | 0.145 | 0.150 | 0.155 | 0.159 |
| 0.300 | 0.210 | 0.221 | 0.232 | 0.242 | 0.252 | 0.261 | 0.270 | 0.279 | 0.287 |
| 0.400 | 0.312 | 0.330 | 0.347 | 0.363 | 0.378 | 0.393 | 0.407 | 0.421 | 0.434 |
| 0.500 | 0.420 | 0.446 | 0.470 | 0.494 | 0.516 | 0.537 | 0.557 | 0.577 | 0.596 |
| 0.600 | 0.530 | 0.565 | 0.599 | 0.630 | 0.660 | 0.689 | 0.716 | 0.743 | 0.768 |
| 0.700 | 0.638 | 0.685 | 0.729 | 0.770 | 0.809 | 0.846 | 0.881 | 0.915 | 0.948 |
| 0.800 | 0.740 | 0.801 | 0.857 | 0.909 | 0.959 | 1.005 | 1.050 | 1.093 | 1.134 |
| 0.900 | 0.832 | 0.910 | 0.980 | 1.046 | 1.107 | 1.165 | 1.220 | 1.272 | 1.323 |
| 1.000 | 0.907 | 1.007 | 1.096 | 1.176 | 1.252 | 1.322 | 1.389 | 1.452 | 1.513 |
| 1.100 | 0.950 | 1.086 | 1.198 | 1.298 | 1.389 | 1.474 | 1.554 | 1.629 | 1.701 |
| 1.200 | | 1.131 | 1.280 | 1.404 | 1.516 | 1.618 | 1.713 | 1.802 | 1.887 |
| 1.300 | | | 1.327 | 1.491 | 1.627 | 1.750 | 1.862 | 1.968 | 2.067 |
| 1.400 | | | | 1.539 | 1.717 | 1.866 | 2.000 | 2.124 | 2.239 |
| 1.500 | | | | | 1.767 | 1.958 | 2.120 | 2.266 | 2.401 |
| 1.600 | | | | | | 2.011 | 2.216 | 2.390 | 2.546 |
| 1.700 | | | | | | | 2.270 | 2.489 | 2.676 |
| 1.800 | | | | | | | | 2.545 | 2.778 |
| 1.900 | | | | | | | | | 2.835 |
| m | | | | | | | | | m3 |




**Volumen del líquido = Valor tabla x L = m3.**

**Valor tabla** = entrar por **Ø** (diámetro del tanque) en m., bajar hasta encontrar la altura del líquido **h**, el cruce dá el valor

h=altura del líquido, Ø diámetro del tanque, **L** largo del tanque.

. **OOOOOOOOOOOO** .

# Pequeño Manual del Foguista **10a. ed.** ***año 2011***

**Indice :**



Este pequeño manual solo espera hacer llegar al Foguista la inquietud de que se debe jerarquizar la profesión por medio del conocimiento, utilizando para ello técnicas simples que permitan un mejor desempeño de la tarea y una mejor eficiencia en la generación y utilización del vapor. Nadie está obligado a utilizar el contenido de este pequeño manual y si lo hace es bajo su responsabilidad, ya que su contenido es de orientación, dado que cada caldera o cada planta generadora de vapor tiene sus características propias.

Noviembre de 1988
2da. Impresión, revisada y ampliada...................... mayo 1990
3era. Impresión, revisada.........................................marzo 1991
4ta. Impresión.................................................setiembre 1992
5ta. Impresión, pequeña ampliación ........................julio 1995
6ta. Impresión, nueva ampliación .................................... 1999
7ta. Impresión, nueva ampliación..................................... 2001
8va. Impresión, nueva ampliación................................... 2005
9na. Impresión, nueva ampliación..................................... 2008
10a. Impresión, nueva ampliación..................................... 2011

Por este mismo autor :
***Pequeño Manual de Preguntas y Respuestas para Foguistas.***
***Pequeño Manual para la Generación y el uso Eficiente del Vapor.***
***Pequeño Manual para Operadores de Calderas de Calefacción.***
***Pequeño Manual del Foguista: Calderas a Leña y Calderas en General.***
***Cd "PEQUEÑOS MANUALES PARA CALDERAS" versión 2011.***

**Notas:**
………………………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………………………
…………………………………………

**Notas:**

........................................................................................................................
........................................................................................................................
........................................................................................................................
.............................................



**Carlos Walter Thomasset Baister**, nacido en 1940 (Argentina), Uruguayo por opción (padre Uruguayo y madre Inglesa), ley 16.021.

Comienza sus estudios en Argentina, luego en Uruguay. Entra a la Escuela Naval en el año 1959, concursando para estudiar como integrante del cuerpo CIME (Cuerpo de Ingenieros en Máquinas y Electricidad, 5 años de estudio en forma de internación, con reválida de Ingeniero de la Marina Mercante). Presta servicios en la Armada hasta el año 1972, en distintas dependencias, como técnico en las materias propias del cuerpo, y como profesor de la Escuela Naval en Electrotecnia para Ingenieros del CIME y Mercantes.

En 1972 pasa a la industria, ganando un concurso en Buenos Aires, para Jefe de Ingeniería en una Azucarera de Remolacha en el Litoral (con 100 tn/h de generación de vapor y con turbos generadores eléctricos de 5.500 Kwh, desempeñándose durante 5 años), sustituyendo a los Ingenieros Franceses de la firma Begain (Francia).

**Luego pasa a prestar servicios de Asesoramiento y Consultoría** (1978) en distintas empresas en todo el País (incluyendo fábricas de calderas). La necesidad de mantener en funcionamiento óptimo los generadores de vapor, le hace trabajar en toda el área (mecánico, termodinámico, eléctrico, electrónico, neumático, automatismos en general, servicios químicos, combustión). Le es natural el ambiente de "calderas", ya que era la época de los "vapores" (los barcos propulsados a vapor de agua y en el mar no había talleres o servicios de apoyo como en tierra).

**Actualmente, en el 2011**, (luego de estar en contacto con las calderas desde 1959) asesora en consultoria a más 50 empresas en el tema de calderas, de los tratamientos químicos (por enseñanza a los foguistas) y control de combustión (cumpliendo ahora 38 años de trabajo en la industria).

Estos manuales solo pretenden ser una colaboración al desarrollo de los foguistas, actores fundamentales en el uso de la energía de un País, que debieran tener una **ASOCIACIÓN PROFESIONAL DE FOGUISTAS**, con el fin de estar representados en los eventos relacionados con las calderas, con la mejora de su gestión y con la ayuda que dá el apoyo mutuo.